

К. К. ТЫЧИНО

ЦИФРОВЫЕ ЧАСТОТОМЕРЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 777

К. К. ТЫЧИНО

ЦИФРОВЫЕ ЧАСТОТОМЕРЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1971

6Ф2. 08
Т94
УДК 621.317.761

Тычино К. К.

Т 94 Цифровые частотомеры на транзисторах. М., «Энергия», 1971.

64 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 777).

В брошюре рассматривается принцип измерения частоты и времени цифровыми приборами. Описана конструкция любительского цифрового частотомера, предназначенного для исследования и настройки радиоэлектронной аппаратуры. Приводятся схемы основных узлов современных отечественных и зарубежных частотомеров на транзисторах.

Брошюра рассчитана на читателей, знакомых с полупроводниковыми приборами и элементами цифровой техники.

3-4-5
345-70

6Ф2.08

Константин Константинович Тычино

Цифровые частотомеры на транзисторах

Редакторы *Б. Н. Лозицкий, Ю. Л. Голубев*
Техн. редактор *Н. А. Галанчева*
Обложка художника *И. Г. Иванова*

Сдано в набор 2/II 1971 г. Подписано к печати 30/VI 1971 г. Т-09759
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 1
Усл. печ. л. 3,36 Уч.-изд. л. 4,34
Тираж 30 000 экз. Цена 19 коп. Зак. 44

Издательство „Энергия". Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Отличительной чертой современных измерительных средств, применяемых в радиоэлектронике, является автоматизация процессов измерений, с помощью которой обеспечивается высокая точность, быстродействие, исключаются субъективные ошибки оператора и осуществляется передача результатов измерений на регистрирующие устройства.

В ряде случаев результаты измерений используются для автоматического управления технологическим процессом или системой контроля.

Автоматизация измерений не снижает роль исследователя, инженера или техника, планирующих и использующих результаты измерений, так как они обязаны хорошо знать возможности автоматизированного измерительного устройства, уметь наиболее рационально его применить и дать правильное объяснение результатам измерений. В то же время применение автоматизированных приборов резко повышает производительность труда при измерениях.

В процессе обслуживания и ремонта современной радиоэлектронной аппаратуры производятся измерения ряда основных параметров и характеристик. Для этой цели необходимо иметь значительное количество измерительных приборов, причем вес приборов может иногда превышать вес контролируемой аппаратуры.

В связи с этим появилась тенденция к созданию универсальных устройств, совмещающих функции нескольких приборов.

В этом отношении наиболее перспективны электронные цифровые приборы. Среди них особое место занимают цифровые частотомеры, которые благодаря ряду свойственных им преимуществ, вытесняют другие приборы, использовавшиеся ранее для частотных и временных измерений.

Современный частотомер — это универсальный прибор, с помощью которого производится измерение частоты, периода, временных интервалов, длительности и частоты следования импульсов, подсчет последовательности импульсов; с помощью соответствующих преобразователей может измеряться постоянное напряжение, а также неэлектрические величины — количество оборотов вращающихся устройств, давление и т. д.; в прибор входит система самоконтроля.

В брошюре описана конструкция цифрового частотомера, который может быть применен при различных частотных и временных измерениях в радиолюбительской практике.

Приведенные схемы основных узлов промышленных частотомеров также могут быть использованы в радиолюбительских конструкциях.

К. Тычино

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ И ВРЕМЕНИ ЦИФРОВЫМИ ПРИБОРАМИ

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ

Основные условия, которым должны удовлетворять современные измерительные устройства, — это высокая точность, быстродействие и непрерывность анализа информации, получаемой в процессе измерений.

Такими свойствами обладают автоматизированные измерительные устройства, которые обеспечивают проведение измерений без участия оператора и сами воспроизводят измеряемую величину в виде чисел или кодированных сигналов, воздействующих на исполнительные механизмы или соответствующие индикаторы.

В зависимости от способа определения числового значения измеряемой величины измерения могут быть прямыми, косвенными и совокупными, которые в свою очередь могут быть выполнены с помощью следующих методов: непосредственным, сравнения, замещения, нулевым и дифференциальным.

Свойства измерительных приборов и их схемная структура определяются способом преобразования измеряемой величины. Если преобразование происходит непрерывно, измеряемая величина на выходе прибора является аналогом входной; прибор в этом случае называется аналоговым.

Если же измеряемая величина преобразуется в систему импульсных или дискретных сигналов, то такой прибор относится к цифровым.

При измерениях электрических и неэлектрических величин в ряде случаев удобно их преобразовать в частоту или временной интервал. В связи с этим в последнее время получили большое распространение цифровые частотомеры, измеряющие автоматически и с высокой точностью частоту, отношение частот, период, интервал времени, длительность импульсов и др.

Рабочий участок спектра электромагнитных колебаний, используемых в настоящее время в радиоэлектронной аппаратуре, охватывает широкую область — от долей герц до 10^{15} *гц*. В зависимости от диапазона, к которому относится измеряемая частота, и требуемой точности измерения частоты производятся различными методами. К ним относятся: метод сравнения с образцовой частотой, метод заряда — разряда конденсатора, резонансный, гетеродинный и т. д.

В диапазонах СВЧ определение частоты иногда производят путем измерения длины волны, используя для этого соотношение

$$f = \frac{c}{\lambda},$$

где c — скорость распространения электромагнитных волн в воздухе, равная $2{,}9968 \cdot 10^8$ *м/сек*.

В настоящее время получил широкое распространение метод измерения частоты, называемый электронно-счетным, который основан на счете количества периодов измеряемого сигнала за эталонный интервал времени $T_{эт}$.

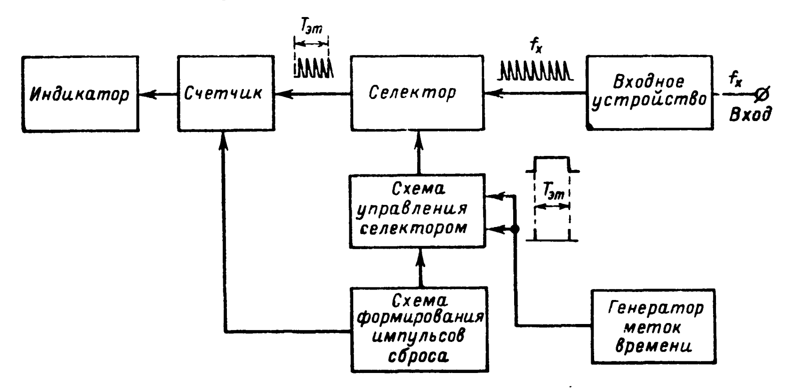


Рис. 1. Упрощенная блок-схема частотомера прямого счета.

Основными преимуществами данного метода измерения частоты по сравнению с другими являются: высокая точность измерения, большое быстродействие, возможность автоматического управления процессом измерения и простота получения результатов измерения в удобной для восприятия цифровой форме.

На этом методе основана работа электронного частотомера с цифровым отсчетом, упрощенная блок-схема которого (рис. 1) имеет следующие основные части: входное формирующее устройство; временной селектор; десятичный счетчик; генератор меток времени (база времени).

Принцип действия прибора заключается в следующем. Во входном формирующем устройстве происходит преобразование сигналов измеряемой частоты f_x в короткие импульсы, следующие с той же частотой. Через временной селектор сформированные импульсы поступают на вход десятичного счетчика.

Управление селектором осуществляется прямоугольным импульсом точно известной длительности, поступающим с генератора меток времени. Время измерения $T_{эт}$, в течение которого селектор открыт и счетчик подсчитывает импульсы измеряемой частоты, соответствует длительности управляющего импульса.

Непосредственный отсчет результата измерений в единицах частоты при использовании метода прямого счета обеспечивается в том случае, если длительность управляющего импульса $T_{эт}$ выра-

жается числом 10^n *сек*, где n — целое положительное или отрицательное число или нуль.

Относительная погрешность измерения частоты записывается в виде

$$\delta = \pm \delta_{эт} \pm \frac{1}{N},$$

где $\delta_{эт}$ — относительная составляющая погрешности частоты эталонного генератора меток времени, задающего длительность $T_{эт}$ управляющего импульса;

$1/N$ — относительная составляющая погрешности, вызванная несинхронностью работы узла, задающего длительность $T_{эт}$, и измеряемой частоты. Абсолютное значение этой погрешности (погрешность дискретности) не зависит от измеряемой величины и равно ± 1 счета младшего разряда (рис. 2);

N — число импульсов, зарегистрированных счетчиков.

Из приведенной формулы видно, что погрешность измерений при заданной величине $T_{эт}$ находится в зависимости от измеряемой частоты, причем измерение частот с малой погрешностью возможно лишь на сравнительно высоких частотах.

При измерении низких частот, когда $\delta_{эт} \ll 1/N$ и может не учитываться, относительная погрешность может быть записана:

$$\delta_N = \pm \frac{1}{f_x T_{эт}}.$$

Минимальное значение частоты $f_{x\,мин}$, которая при данном значении $T_{эт}$ может быть измерена с заданной относительной погрешностью δ_N, определяется по формуле

$$f_{x\,мин} = \frac{1}{\delta_N T_{эт}}.$$

При $T_{эт} = 10$ *сек* формула принимает следующий вид:

$$f_{x\,мин} = 0{,}1 \frac{1}{\delta_N}.$$

Следовательно, минимальная измеряемая частота $f_{x\,мин}$ при $\delta_N = 0{,}01$ (1%) будет равна 10 *гц;* при $\delta_N = 10^{-3}$ минимальная $f_{x\,мин} = 10^3$ *гц*; при $\delta_N = 10^{-6}$ частота $f_{x\,мин} = 10^5$ *гц*.

Для уменьшения погрешности при измерении низких частот необходимо увеличивать длительность импульса $T_{эт}$ (число импульсов N, зарегистрированных счетчиком). Однако максимальное значение $T_{эт}$ практически не должно превышать 10 *сек*, так как величина нестабильности интервала $T_{эт}$ при больших значениях $T_{эт}$ может оказаться сравнимой или превышающей $\delta_{эт}$.

В связи с тем, что время измерения $T_{эт}$ обычно выбирается в пределах 0,01—10 *сек*, соответствующие частоты (100—0,1 *гц*) полу-

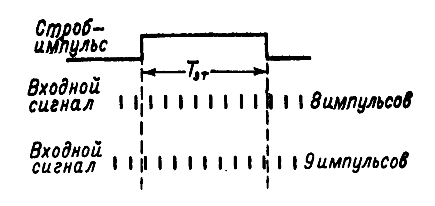


Рис. 2. Возникновение погрешности дискретности (± 1 счета).

чаются в результате деления частоты кварцевого генератора, входящего в состав генератора меток времени. Эта частота обычно сравнительно высока (1—5 *Мгц*). Деление частоты осуществляется с помощью ряда декадных делителей, включенных последовательно.

Сигнал на выходе низкочастотного делителя появляется с некоторой задержкой, нестабильность которой вызывает погрешность установления времени измерения. Например, если (при $T_{эт}=1$ *сек*) нестабильность управляющего импульса составляет 0,05—0,1 *мксек*, то минимальная погрешность измерения будет при этом равна $(0{,}5\div1)\cdot10^{-7}$.

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРИОДА

В целях повышения точности при измерении низких частот с помощью цифрового частотомера целесообразно измерять не частоту, а соответствующий интервал времени — период колебаний. При этом блок-схема частотомера изменяется в соответствии с рис. 3.

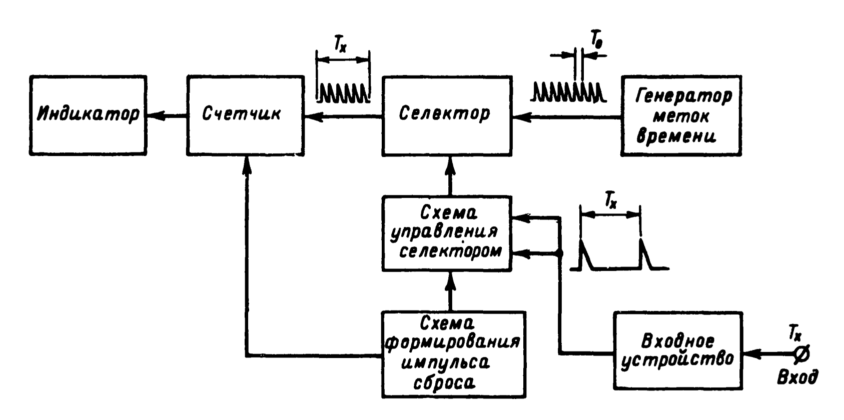


Рис. 3. Блок-схема измерителя периода.

Входной сигнал с помощью формирующего устройства и схемы управления селектором преобразуется в управляющий импульс, длительность которого T_2 равна одному или 10^S периодам измеряемого сигнала, где $S=1, 2, 3, \ldots$; счетчик при этом регистрирует импульсы эталонной частоты, поступающей с генератора меток времени на вход A.

Период эталонных импульсов может быть равным 10^q *сек*, где q — целое положительное или отрицательное число. Следовательно, при измерении периода происходит заполнение измеряемого интервала времени последовательностью импульсов, период которых точно известен. Для повышения точности измерений необходимо применять возможно более высокую частоту заполнения (с целью увеличения числа импульсов N).

Основная погрешность при измерении периода низкочастотных колебаний возникает за счет нестабильности уровня формирования входного устройства.

В результате изменения уровня формирования в течение периода входного сигнала измеряемым интервалом оказывается не период T_x (при $S=1$), а интервал $T_2=T_x\pm\Delta T$, где ΔT — погрешность, вызываемая изменением уровня формирования $u_ф$ на величину $\Delta u_ф$.

Величины $\Delta u_ф$ и ΔT связаны выражением

$$\Delta T=\frac{\Delta u_ф}{2\pi f u_m},$$

где f — частота входного сигнала.

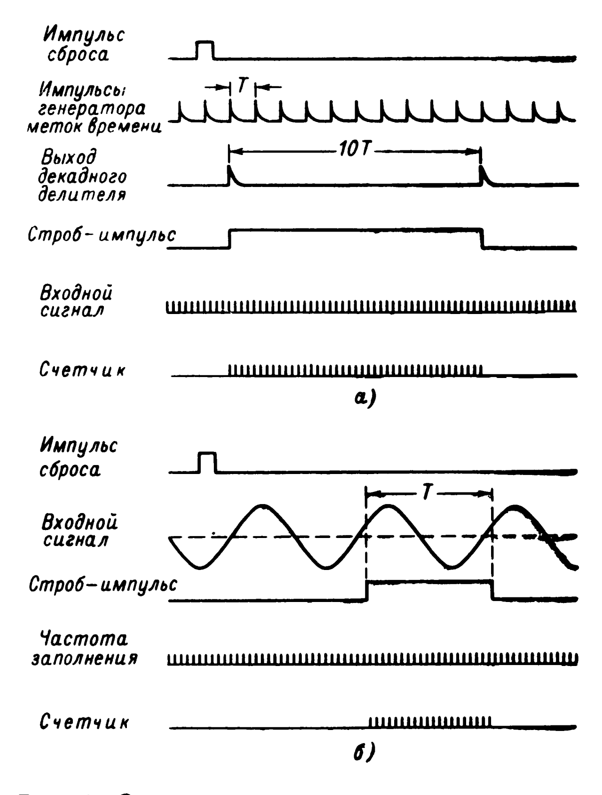


Рис. 4. Осциллограммы процессов в основных узлах частотомера.

а — измерение частоты; *б* — измерение периода.

Величина погрешности ΔT прямо пропорциональна нестабильности уровня формирования и обратно пропорциональна амплитуде и частоте измеряемого сигнала.

На рис. 4 приведены осциллограммы процессов при измерении частоты и периода.

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕРВАЛА ВРЕМЕНИ

Несмотря на сходство процессов измерения периода и интервала времени, приборы, предназначенные для временны́х измерений, выделены в особую группу. Это связано с тем, что в практике временны́х измерений возможны различные варианты определения интервалов времени, как, например:

1. Временной интервал может задаваться периодическими, а также непериодическими или однократными сигналами.

2. Временной интервал может определяться различно:

а) длительностью импульсов на определенном уровне амплитуды;

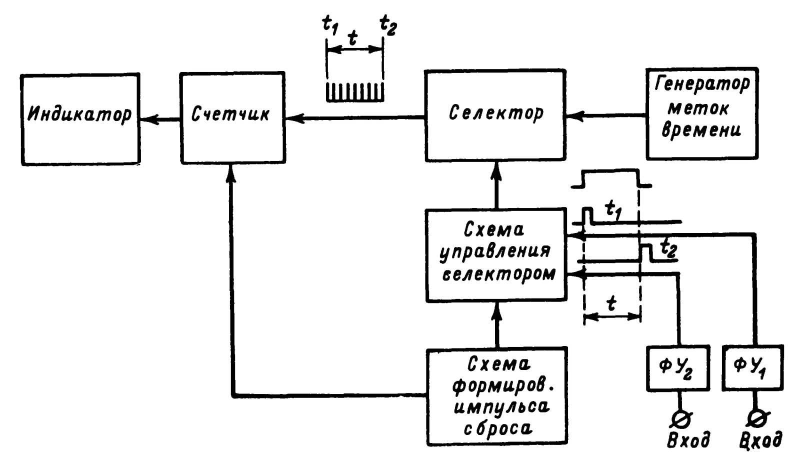


Рис. 5. Блок-схема измерителя интервала времени.

б) интервалом между двумя импульсами на различных уровнях амплитуд обоих импульсов;

в) интервалом между различными уровнями амплитуды одного и того же импульса и т. д.

В ряде случаев временной интервал может задаваться независимыми во времени импульсами, поступающими от различных источников (рис. 5).

В отличие от измерителей периодов приборы для измерения временны́х интервалов содержат в своей схеме два входных формирующих устройства $ФУ_1$ и $ФУ_2$. С помощью $ФУ_1$ формируется «опорный» импульс длительностью t_1, определяющий начало измеряемого интервала (старт); $ФУ$ формирует «интервальный» импульс длительностью t_2, определяющий окончание интервала (стоп).

Для осуществления временны́х измерений на различных уровнях входных сигналов $ФУ_1$, $ФУ_2$ должны иметь регулируемые уровни формирования.

В связи с тем, что измерители интервалов времени иногда (при однократных измерениях) не обеспечивают заданную погрешность измерений, для получения необходимой точности измерения применяют умножение периодов.

Одним из распространенных методов измерения временных интервалов является метод последовательного счета. Сущность этого метода заключается в том, что измеряемый интервал может быть представлен в виде последовательного ряда импульсов, которые следуют один за другим через одинаковые эталонные промежутки времени.

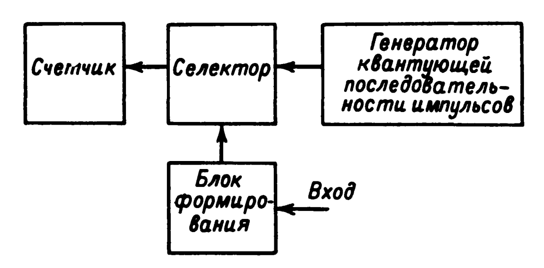


Рис. 6. Блок-схема преобразователя последовательного счета.

Число импульсов последовательности, иначе называемой квантующей, определяет величину измеряемого интервала.

Устройство, в котором используется этот метод, называется преобразователем последовательного счета. Блок-схема устройства приведена на рис. 6.

На селектор поступают импульсы от источника квантующей последовательности импульсов. Для управления селектором блок формирования формирует прямоугольный импульс, длительность которого равна величине измеряемого интервала $\tau_{и}$.

Через селектор при наличии управляющего импульса на счетчик поступают импульсы квантующей последовательности.

Относительная погрешность $\delta_{о.и}$ (при однократном измерении) преобразования временного интервала выражается формулой

$$\delta_{о.и} = \pm \delta_0 \pm \frac{1}{N},$$

где δ_0 — относительная погрешность периода квантующих импульсов;

$1/N$ — погрешность дискретности.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

В частотомере, в котором используется метод прямого счета, верхний предел измеряемых частот ограничивается быстродействием пересчетной схемы младшего разряда счетчика. У частотомеров отечественного производства, выпускаемых в настоящее время, пересчетные схемы имеют быстродействие до 50 *Мгц*. Расширение диапазона измеряемых частот в электронных частотомерах может производиться различными способами. Одним из таких способов является преобразование частоты. Преобразование производится в дополнительном блоке, называемом преобразователем или переносчиком частоты.

На рис. 7 приведена упрощенная блок-схема частотомера с преобразованием частоты. К смесителю, входящему в состав преобразователя, одновременно с измеряемой частотой подводится спектр гармоник вспомогательного генератора; при этом происходит преобразование f_x в промежуточную частоту $f_{пр}=f_x-nf_г$ (n — номер гармоник), которая должна быть меньше разности соседних

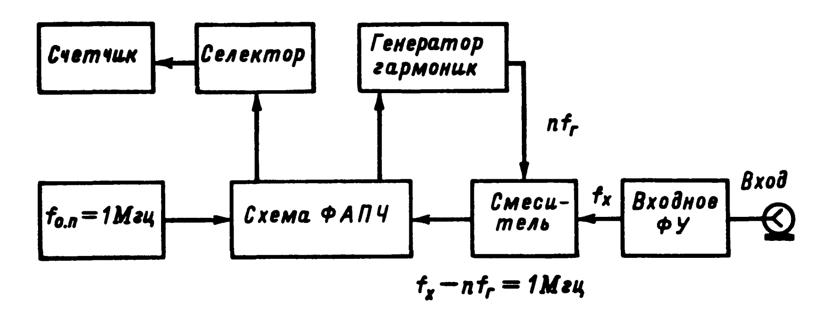


Рис. 7. Блок-схема частотомера с преобразованием частоты.

гармоник. Величина этой разности не должна превышать максимальное быстродействие пересчетной схемы счетчика.

После смесителя $f_{пр}$ поступает на схему фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), куда подводится также напряжение частоты

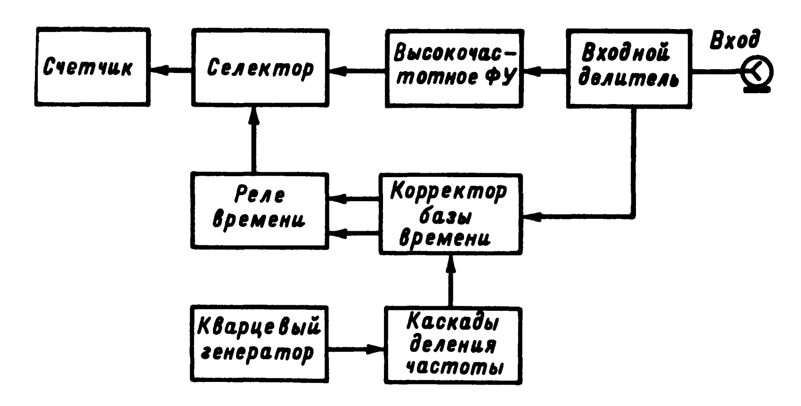


Рис. 8. Блок-схема частотомера с предварительным делением частоты.

$f_{оп}=1$ *Мгц* от генератора меток времени частотомера. Схема ФАПЧ обеспечивает равенство промежуточной и опорной частот: $f_{пр}=f_x-nf_г=1$ *Мгц*.

С выхода преобразователя на частотомер поступает сигнал с частотой, равной

$$\frac{f_x - 1\ Мгц}{n}.$$

Для получения непосредственного отсчета измеряемой частоты f_x необходимо увеличить время измерения в n раз и прибавить к результату 1 *Мгц*.

Введение одной единицы в декаду, разряд которой соответствует единицам мегагерц, производится с помощью устройства, называемого «корректором 1 *Мгц*».

Принцип преобразования частоты используется в современных широкодиапазонных частотомерах с цифровым отсчетом. В качестве примера можно привести отечественные частотомеры типов Ч3-4 и Ч3-30.

Существует другой способ расширения частотного диапазона частотомера, сущность которого заключается в том, что измеряемая частота предварительно делится на 4 во входном устройстве прибора, формируется и через селектор подается на счетчик. Для получения непосредственного отсчета время измерения увеличивается в 4 раза с помощью вспомогательного узла — «корректора базы времени».

Схема и конструкция прибора при этом значительно усложняются. Блок-схема частотомера с предварительным делением частоты показана на рис. 8.

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ СХЕМЫ ЧАСТОТОМЕРА С ЦИФРОВЫМ ОТСЧЕТОМ

В связи с широким применением цифровых частотомеров для частотных и временных измерений схема современного электронного частотомера должна обеспечивать выполнение следующих функций:

преобразование входных сигналов различной формы в стандартные импульсы в диапазоне измеряемых частот;

создание управляющего прямоугольного импульса, длительность которого должна быть:

а) точно известной при измерении частот;

б) равной измеряемому периоду;

в) равной длительности измеряемого импульса выбранной полярности;

осуществление временного селектирования (стробирования) импульсов, сформированных из входного сигнала с помощью управляющего импульса;

регистрация количества селектированных (стробированных) импульсов и представление информации в цифровой форме, а также выдача необходимого кода для цифропечатающих устройств;

преобразование (перенос) частот или предварительное деление частот для расширения частотного диапазона;

синхронизация работы основных функциональных узлов прибора;

выдача ряда дискретных частот для целей самоконтроля и временных измерений.

Для выполнения перечисленных функций в схему электронного частотомера с цифровым отсчетом должны входить следующие основные узлы:

а) входное формирующее устройство с аттенюатором и предварительным усилителем;

б) селектор;

в) генератор меток времени (кварцевый генератор с каскадами умножения и деления частоты);

г) десятичный счетчик импульсов с системой визуальной индикации и выдачи кода для регистрирующих устройств;

д) схема управления, осуществляющая формирование управляющего импульса (строб-импульса) и синхронизацию работы всех узлов прибора;

е) блок преобразования (или деления) частоты;

ж) блок питания.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЧАСТОТОМЕР С ЦИФРОВЫМ ОТСЧЕТОМ

НАЗНАЧЕНИЕ ПРИБОРА

С помощью описываемого прибора могут быть измерены частота и период синусоидальных колебаний и импульсов, интервал времени, длительность импульсов обеих полярностей, отношение частот, число импульсов (суммирование).

Прибор имеет режим самоконтроля, а также выдает стандартные частоты декадными ступенями — в пределах от 1 *гц* до 10 *Мгц*.

Результат измерения воспроизводится на семиразрядном счетчике и выражается в герцах, килогерцах, микросекундах, миллисекундах и секундах; целая часть показаний счетчика отделяется от дробной с помощью запятой, положение которой зависит от выбранного времени измерения и размерности результата.

В приборе предусмотрено автоматическое, ручное и дистанционное управление работой. При автоматической работе прибора происходит периодическое повторение циклов измерений, продолжительность которых определяется временем индикации (время индикации может регулироваться в пределах от 0,1 до 5 *сек*).

При ручной работе измерение производится однократно; при каждом измерении сброс показаний и пуск прибора осуществляются нажатием кнопки *Пуск*. Для дистанционного управления прибором на выносном пульте помещена дополнительная кнопка *Пуск*; измерения производятся однократно.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Прибор имеет следующие технические данные.

Диапазон измеряемых частот 0—20 *Мгц* при действующем значении входного напряжения 0,1—50 *в*.

Время измерения 0,1—1—10 *сек*.

Нестабильность частоты кварцевого генератора $\pm 3 \cdot 10^{-7}$ (за 8 *ч*).

Погрешность измерения $\pm 3 \cdot 10^{-7} \pm 1$ счета.

Прибор измеряет 1 или 10 периодов в диапазоне 0,1 *гц* — 100 *кгц* при действующем значении входного напряжения 0,5—50 *в*;

метки времени (период импульсов, заполняющих измеряемый период) имеют длительность: 0,1—1—10—10^2—10^3—10^4—10^5—10^6 *мксек.*

Прибор измеряет интервалы времени от 10 *мксек* до 10^2 *сек* (между фронтами двух импульсов); полярность импульсов положительная, амплитуда 2—10 *в,* длительность фронта — не хуже 0,1 *мксек.*

Прибор измеряет длительности импульсов обеих полярностей в пределах от 10 *мксек* до 10^2 *сек* при амплитуде 0,5—50 *в.* Погрешность измерений равна $\pm 3 \cdot 10^{-7} \pm 1$ период частоты заполнения (при крутизне фронта измеряемого импульса не менее 10 *в/мксек*).

Прибор измеряет отношения частот от 1 : 1 до 10^6 : 1.

Прибор сохраняет свои технические характеристики при работе от внешнего генератора с частотой 2 *Мгц* и действующим значением напряжения 1—10 *в.*

Входное сопротивление 50 *ком* — 50 *пф.* Потребляемая мощность 30 *ва.*

БЛОК-СХЕМА

Так как основным параметром, определяющим сложность схемы и конструкции, является верхний предел измеряемых частот, то с целью некоторого упрощения прибора в нем использован метод прямого счета и предусмотрено быстродействие до 20 *Мгц.*

При построении некоторых основных узлов прибора были использованы схемы соответствующих узлов промышленных частотомеров Ф-571 и Ч3-30. Изменения, внесенные в схемы, направлены в сторону их упрощения при сохранении основных технических характеристик.

В блок-схему прибора (рис. 9) входят следующие узлы: входное высокочастотное устройство с аттенюатором и входными контактами *Вх.А*; входное низкочастотное формирующее устройство с аттенюатором и входом *Вх.Б*; временной селектор; автоматика (формирователь строб-импульса, хронизатор, устройство сброса), термостатированный кварцевый генератор с частотой 2 *Мгц,* каскад умножения частоты кварца; каскады деления частоты; декадный делитель; электронный счетчик с индикацией; блок питания.

ВХОДНОЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ФОРМИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Входное высокочастотное формирующее устройство (ФУ-1) выполняет следующие функции:

ограничивает и усиливает входные сигналы измеряемых частот и обеспечивает надежную работу формирователя во всем диапазоне частот, длительностей и амплитуд;

преобразует измеряемые сигналы, которые могут быть различны по форме, амплитуде и полярности, в последовательность прямоугольных импульсов с крутыми фронтами без изменения их частоты повторения и обеспечивает надежную работу узлов прибора, связанных с входным устройством.

Схему входного ВЧ устройства составляют вход *Вх.А*, аттенюатор, усилитель и формирователь импульсов *ФУ* (рис. 9).

Аттенюатор представляет собой цепочку компенсированных делителей с коэффициентами деления 1 : 10 и 1 : 100 и предназначен для расширения динамического диапазона входного сигнала. Коэф-

фициент деления определяется постоянными времени делителей, входящих в состав аттенюатора. При подгонке необходимого коэффициента деления постоянные времени R_1C_1 и R_2C_2 выравниваются с помощью подстроечных конденсаторов (рис. 10).

Усилитель предназначен для повышения уровня сигнала, подлежащего усилению, и для увеличения входного сопротивления прибора с целью уменьшения его влияния на измеряемый объект.

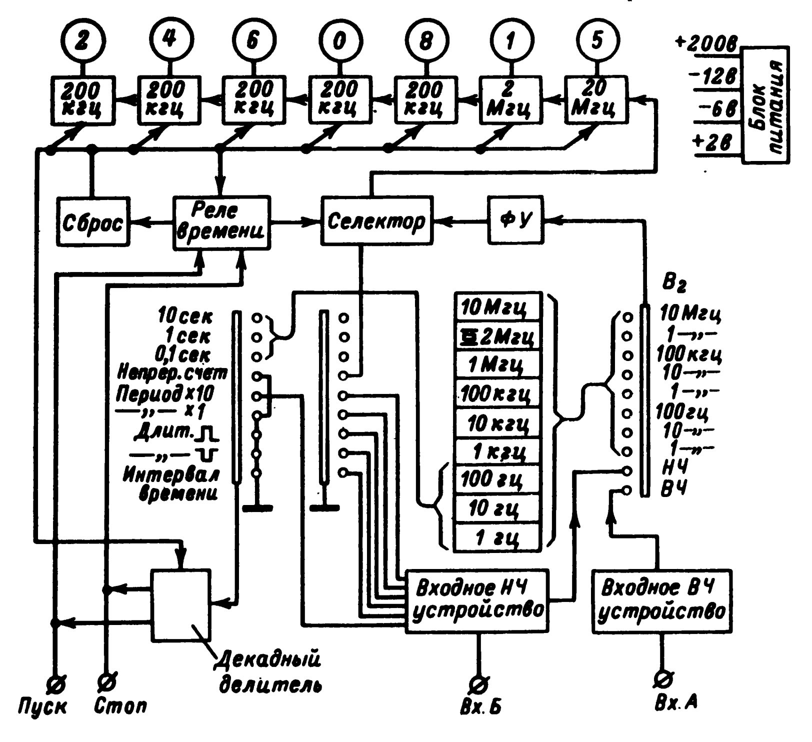


Рис. 9. Блок-схема частотомера с цифровым отсчетом.

На рис. 11 представлена принципиальная схема высокочастотного усилителя частотомера Ф-571, использованная в описываемом приборе. На входе усилителя включен аттенюатор, имеющий три положения — 1 : 1, 1 : 10 и 1 : 100; аттенюатор уменьшает сигнал, поданный на вход первого каскада, до максимального уровня 1 *в*.

Резистор R_3 определяет входное сопротивление прибора, конденсатор C_4, включенный параллельно R_3, служит для коррекции частотной характеристики; конденсаторы C_3 и C_5 являются корректирующими при ослаблении сигнала в 10 и 100 раз. Усилитель используется при измерении частот в пределах от $1 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^7$ *гц*.

При поступлении на вход усилителя сигналов с большой амплитудой (до 20 *в*) рабочая точка транзистора T_1 эмиттерного повторителя смещается на нелинейный участок характеристики,

в результате чего входное сопротивление каскада уменьшается. Для исключения этого явления на входе усилителя включен двусторонний (сверху и снизу) диодный ограничитель (диоды $Д_1$ и $Д_2$).

Вход и выход усилителя закрыты. Усилитель собран на пяти транзисторах (T_1—T_5), три из которых (T_1, T_3 и T_5) используются в согласующих эмиттерных повторителях и только два (T_2 и T_4) в собственно усилителях по схеме с общим эмиттером. В усилительных каскадах используются высокочастотные транзисторы типа ГТ313Б, работающие вплоть до диапазона СВЧ. В схеме усилителя отсутствуют реактивные частотокорректирующие элементы.

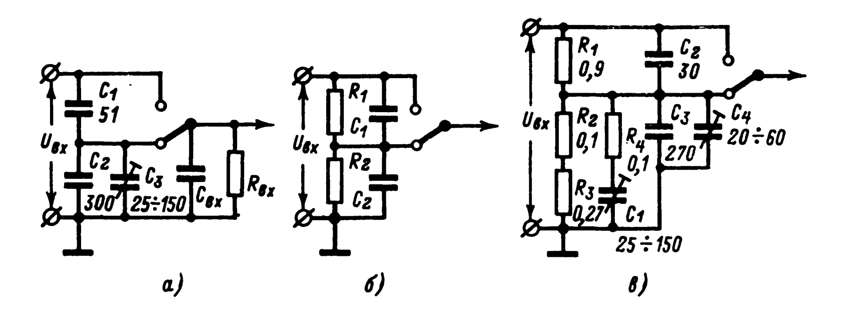


Рис. 10. Схемы аттенюаторов.

а — емкостный делитель (коэффициент деления $k=10$); *б* — частотно-компенсированный делитель; *в* — частотно-компенсированный делитель с коррекцией частотной характеристики.

Формирователь импульсов служит для преобразования поступающих на его вход различных по форме и амплитуде сигналов в короткие импульсы с амплитудой 5 *в* и длительностью фронта 15 *нсек*.

Схему формирователя (рис. 12) составляют: триггер Шмитта, собранный по видоизмененной схеме, в котором для уменьшения времени переключения использованы опорный и туннельный диоды; ограничитель импульсов и каскад усиления.

С целью повышения входного сопротивления последовательно со входом включен резистор R_1; конденсатор C_1, включенный параллельно R_1, улучшает передачу фронта импульса. Двусторонний ограничитель на диодах $Д_1$—$Д_4$ служит для предохранения триггера Шмитта от перегрузки при поступлении на его вход сигналов с большой амплитудой. Для уменьшения нагрузки на триггер выход последнего развязан от усилителя с помощью эмиттерного повторителя.

Для сохранения крутизны фронтов импульсов, сформированных триггером Шмитта, в усилителе использованы высокочастотные транзисторы, работающие в ключевом режиме. При отсутствии на входе сигналов транзистор T_1 заперт, транзистор T_2 отперт, поскольку стабилитрон $Д_5$ находится в режиме пробоя, а через туннельный диод $Д_6$ протекает в прямом направлении ток.

Падение напряжения на туннельном диоде превышает напряжение отпирания транзистора T_2, и он надежно отперт. При воздействии сигнала на вход формирователя происходит отпирание транзистора T_1; при этом увеличивается его коллекторный ток,

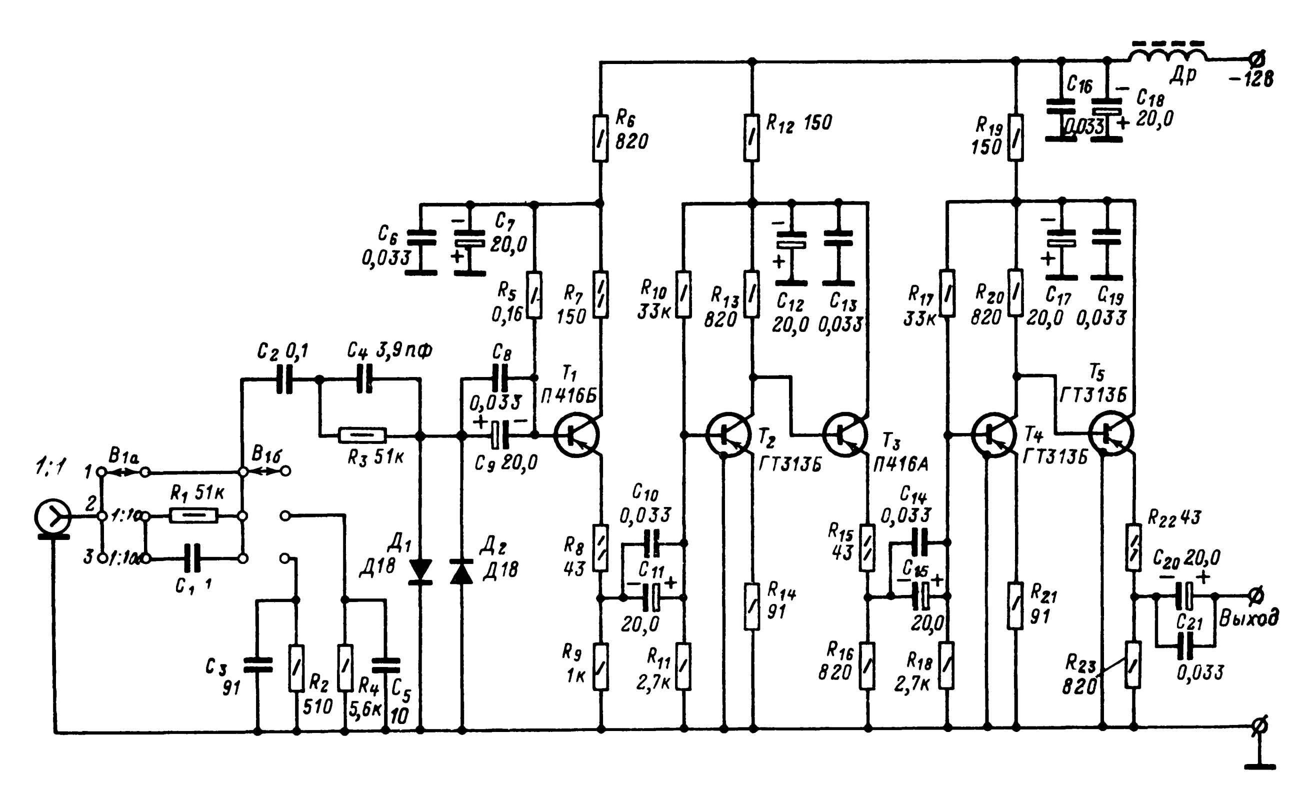


Рис. 11. Схема ВЧ усилителя.

возрастает падение напряжения на коллекторной нагрузке R_4, напряжение на стабилитроне $Д_5$ падает ниже пробоя и он быстро восстанавливается (запирается). Поскольку ток стабилитрона задавал смещение туннельному диоду $Д_6$, напряжение на последнем за единицы наносекунд возрастает до некоторой положительной величины. Из-за малого динамического сопротивления диода $Д_6$ почти также резко изменяет свое состояние транзистор T_2, переходя из отпертого состояния в запертое.

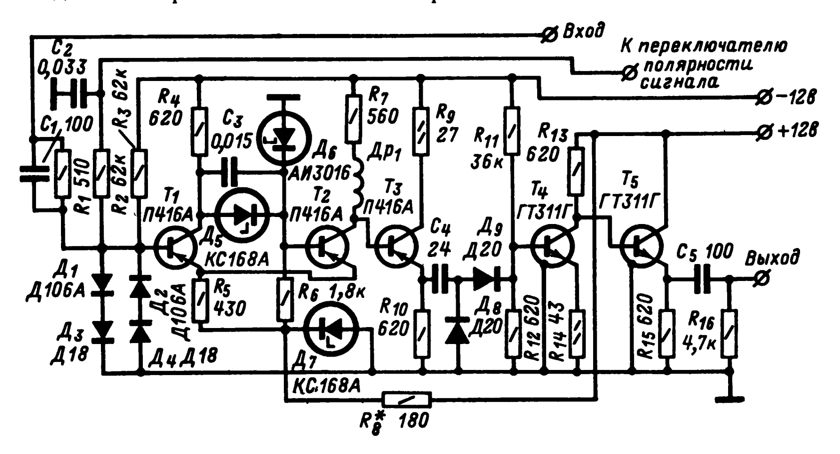


Рис. 12. Схема формирующего устройства.

За счет обратной связи (резистор R_5 в цепи эмиттеров транзисторов T_1 и T_2) процесс переключения триггера происходит более ускоренно и вся схема с высокой скоростью, как и туннельный диод, переходит из одного состояния в другое.

На коллекторе транзистора T_2 формируется отрицательный импульс, повторяемый эмиттерным повторителем (транзистор T_3). На выходе последнего включен диодный ограничитель (диоды $Д_8$ и $Д_9$): $Д_9$ пропускает импульсы положительной полярности на вход усилителя (транзистор T_4), $Д_8$ служит для снятия импульсов нерабочей (отрицательной) полярности.

При исчезновении на входе отпирающего сигнала схема также быстро приходит в исходное состояние и на коллекторе транзистора T_2 возникает положительный перепад напряжения, который повторяется эмиттерным повторителем (транзистор T_3) и через конденсатор C_4 и диод $Д_9$ воздействует на базу нормально запертого ключа (транзистор T_4). Транзистор T_4 отпирается и формирует импульс отрицательной полярности, повторяемый эмиттерным повторителем (транзистор T_5). Через конденсатор C_5 он подается на вход селектора и далее на электронный счетчик. В частотомере применена менее сложная схема формирователя и селектора (рис. 13). Формирователь выполнен на транзисторах T_1 и T_2 по схеме триггера Шмитта. Для уменьшения влияния последующего каскада — селектора — на триггер импульсы с выхода последнего поступают на ключевой усилитель (транзистор T_3). Необходимое напряжение смещения на базу T_3 задается с помощью делителя

(R_7, $Д_4$, R_{10} и R_{11}). Более точно режим усилителя устанавливается посредством переменного резистора R_{11}.

В селекторе применена схема И последовательного типа (T_4 и T_5 ГТ313Б). К базе T_5 подводится управляющее напряжение

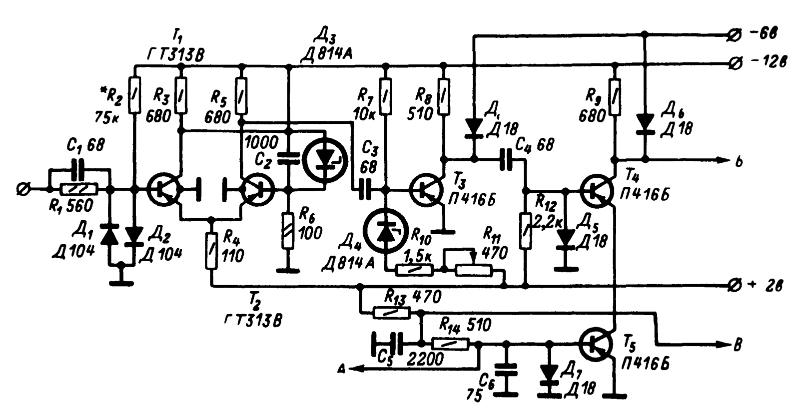


Рис. 13. Формирующее устройство и селектор.

а — к формирователю строб-импульса (потенциал в точке *А* изменяется от +150 до —300 *мв*); *б* — выход селектора; *в* — к переключателю B_1 (непрерывный счет).

в виде строб-импульса, к базе T_4 — выходные импульсы усилителя (T_3). В схеме усилителя и селектора для повышения быстродействия введена фиксация коллекторного напряжения запертых транзисторов ($Д_4$ и $Д_6$). Схема устойчиво работает в диапазоне от одиночных импульсов до 29 *Мгц* (рис. 13).

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ

Измерения низких частот, периодов, интервалов времени и длительностей импульсов производятся с помощью низкочастотного формирующего устройства (рис. 14) *.

В состав формирователя входят: усилитель постоянного тока; формирователь импульсов; цепи коммутации выходных сигналов и потенциометр *Уровень запуска.*

Усилитель постоянного тока усиливает входные сигналы в диапазоне частот 0—100 *кгц* до уровня, необходимого для надежного запуска формирователя импульсов.

Усилитель состоит из входного эмиттерного повторителя, одного каскада усиления и выходного эмиттерного повторителя (транзисторы T_1—T_3).

Входное сопротивление усилителя (около 50 *ком*) обеспечивается включением резистора R_1 в цепь базы входного эмиттерного повторителя. Конденсатор C_1 улучшает передачу фронтов импульсов. На входе формирующего устройства включен двусторонний диодный ограничитель ($Д_1$, $Д_2$ и R_1). С помощью потенциометра

* Схема используется в приборе Ч3-30.

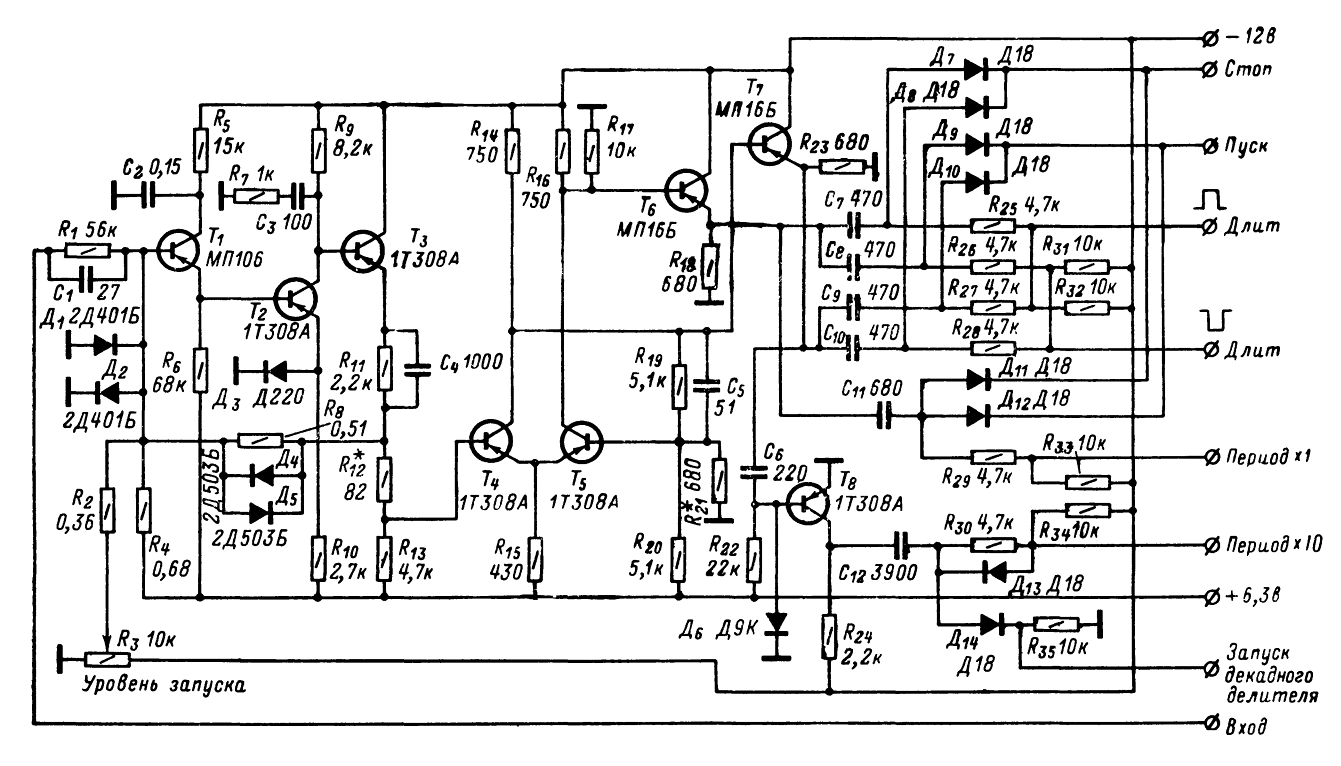


Рис. 14. Схема НЧ формирователя импульсов.

Уровень запуска устанавливается необходимый режим работы формирователя импульсов в зависимости от полярности и уровня входного сигнала. Равномерное усиление и устойчивая работа усилителя в диапазоне частот обеспечиваются наличием глубокой отрицательной обратной связи (резисторы R_2, R_4 и R_8). Эти элементы определяют также коэффициент усиления и уровень постоянной составляющей на входе усилителя. Диоды $Д_4$ и $Д_5$ обеспечивают резкое увеличение глубины отрицательной обратной связи при превышении входным сигналом определенного уровня (примерно ±0,6 *в*).

Снижение температурного дрейфа достигается применением во входном эмиттерном повторителе кремниевого транзистора T_1 типа МП106, а также диода $Д_3$, который компенсирует смещение рабочей точки транзисторов T_2 и T_3 в диапазоне рабочих температур.

Формирователь импульсов выполнен на транзисторах T_4 и T_5 по схеме триггера Шмитта. Нагрузка к триггеру Шмитта подключается через эмиттерные повторители (T_6 и T_7) для уменьшения ее влияния на работу триггера. Необходимые уровни срабатывания формирователя обеспечиваются с помощью резисторов R_{12} и R_{21}.

Цепи коммутации служат для выбора одного из режимов работы прибора (измерения *Период*×1, *Период*×10, *Длит.* ⊓ или ⊔) и представляют собой импульсно-потенциальные схемы совпадения. Коммутирующими элементами являются диоды. Выбор необходимого режима производится следующим образом. Диоды, не участвующие в измерениях, заперты напряжением —12 *в*. С помощью переключателя *Виды измерений* производится соединение с корпусом прибора одного из выводов схемы, обозначенных *Длит.* ⊓, *Длит.* ⊔, *Период*×1, *Период*×10. В результате снимается запирающее напряжение с диодов, включенных в соответствующие цепи.

Так, при измерении длительности импульса отрицательной полярности вывод ⊔ соединяется с корпусом; с диодов $Д_9$ и $Д_8$ снимается запирающее напряжение и на реле времени (формирователь строб-импульса) поступают импульсы *Пуск* и *Стоп;* при измерении длительности импульса положительной полярности импульсы пуска и остановки проходят соответственно через диоды $Д_{10}$ и $Д_7$; при измерении периода *Период*×1 импульсы пуска и остановки проходят через отпертые диоды $Д_{12}$ и $Д_{11}$; при измерении среднего из десяти периодов к выходу схемы формирователя подключается декадный делитель. Ключ, собранный на транзисторе T_8, служит для получения импульсов амплитудой 4 *в* для запуска декадного делителя (через диод $Д_{14}$).

СЕЛЕКТОР

Схему селектора составляют два высокочастотных транзистора T_1 и T_2 (типа П416Б), включенных последовательно и имеющих общую коллекторную нагрузку R_2 (рис. 15).

Транзисторы работают в ключевом режиме и в исходном состоянии (при отсутствии измерений) заперты напряжением смещения. Напряжение смещения для транзистора T_1 снимается с делителя, состоящего из резисторов R_3 и R_4; смещение для транзистора T_2 задается делителем, в состав которого входят резисторы R_6, R_7, R_8 и диод $Д_2$.

Напряжение на выходе селектора возникает только при одновременном действии отпирающих напряжений на входах обоих транзисторов. Для транзистора T_1 отпирающими будут импульсы

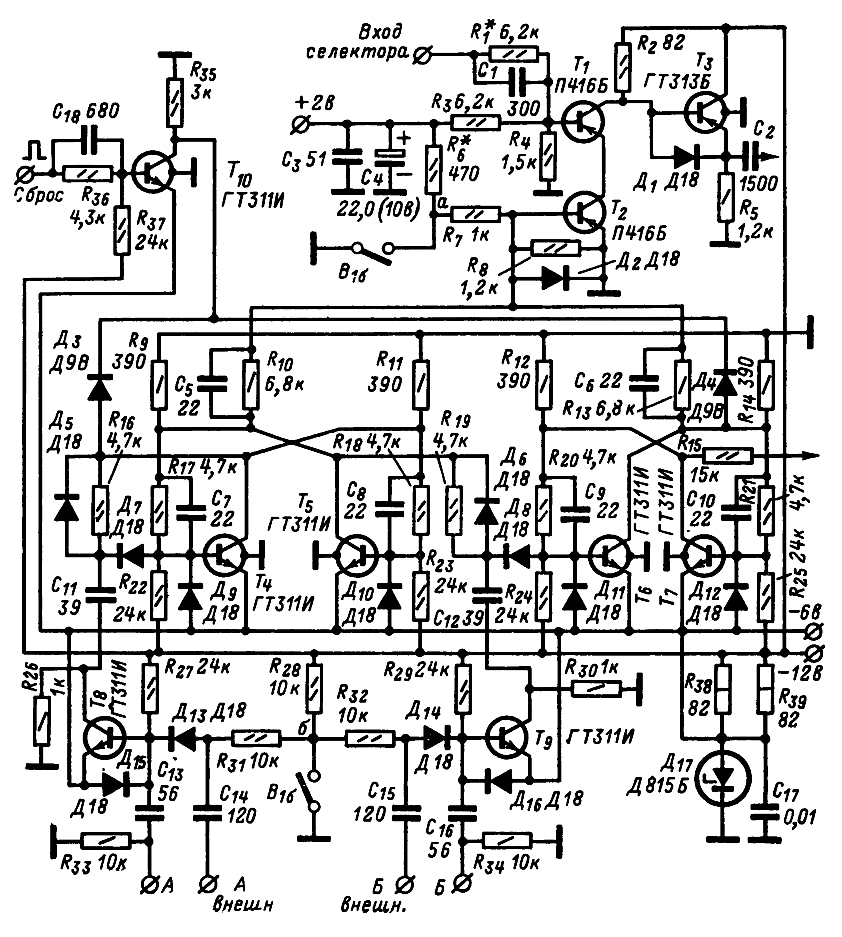


Рис. 15. Схема селектора и формирователя строб-импульса.

отрицательной полярности, поступающие с выхода формирующего устройства (транзистор T_5 — рис. 12); транзистор T_2 отпирается под действием строб-импульса.

Количество импульсов, проходящих через селектор, равно:

$$N = \frac{\tau_{изм}}{T_{сл}} = \tau_{изм} f_{сл},$$

где $\tau_{изм}$ — время измерения (длительность строб-импульса);

$T_{сл}$, $f_{сл}$ — период и частота следования импульсов, поступающих на вход селектора (вход транзистора T_1).

С целью повышения нагрузочной способности селектора на его выходе включен эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе T_3.

Для работы прибора в режиме *Суммирование* (непрерывный счет) транзистор T_2 переводится в отпертое состояние. Для этого точка *а* делителя, включенного в цепь базы T_2, соединяется с корпусом с помощью переключателя B_{16}.

Импульсы, поступающие на вход транзистора T_1 с формирующего устройства, отпирают селектор и счетчик переходит на непрерывный подсчет этих импульсов.

АВТОМАТИКА

Автоматика частотомера предназначена для осуществления процесса измерения и синхронизации работы всех узлов прибора.

Схема автоматики вырабатывает следующие управляющие импульсы: строб-импульс, определяющий время измерения; импульс сброса, переводящий схему формирования строб-импульса и пересчетные устройства электронного счетчика в исходное состояние перед началом измерения, и импульс, определяющий время индикации.

Схема автоматики осуществляет также формирование внешних импульсов *Пуск* и *Стоп* и обеспечивает работу прибора при управлении внешними сигналами.

Автоматику частотомера составляют следующие узлы: формирователь строб-импульса; узел формирования импульса сброса; узел регулирования длительности индикации результатов измерения и узел ручного пуска автоматики.

Формирователь строб-импульса (рис. 15). Схема формирователя строб-импульса (называемого иногда реле времени) состоит из двух триггеров, двух усилительных каскадов и импульсно-потенциальных схем совпадения.

Триггеры формирователя (транзисторы T_4—T_7) выполнены по схеме симметричного триггера с коллекторно-базовыми связями.

Запуск триггеров раздельный, управляемый, осуществляется по базовым цепям транзисторов T_4 и T_6.

Для исключения погрешности установления времени измерения триггеры формирователя должны обладать высоким быстродействием; с этой целью в их схемах применены высокочастотные транзисторы типа ГТ311И.

С целью повышения чувствительности триггеров к запускающим импульсам на их входах включены усилительные каскады, выполненные на транзисторах T_8 и T_9. Усилители работают в ключевом режиме.

Работа формирователя происходит следующим образом. Импульс сброса (отрицательной полярности), поступающий через диоды $Д_3$ и $Д_4$ на триггеры, переводит транзисторы T_4 и T_6 перед началом нового измерения в отпертое состояние.

Очередной (после сброса) импульс, запускающий схему, воздействует только на триггер, собранный на транзисторах T_4 и T_5, так как диод $Д_8$, включенный на входе триггера, собранного на транзисторах T_6 и T_7, заперт положительным потенциалом (этот потенциал снимается с коллекторной нагрузки транзистора T_5 и через резистор R_{19} подводится к диоду $Д_8$).

При опрокидывании триггера, собранного на транзисторах T_4 и T_5, транзистор T_4 запирается; в результате с диода $Д_8$ снимается

запирающее напряжение и триггер на транзисторах T_6 и T_7 переходит в подготовленное состояние. Следующий запускающий импульс опрокидывает только триггер $Тг_2$, но не воздействует на триггер $Тг_1$, так как диод $Д_7$ (на входе T_4) оказывается запертым положительным потенциалом с коллектора транзистора T_4.

Из перепадов напряжений на коллекторах транзисторов T_5 и T_6 формируется строб-импульс. На селектор строб-импульс поступает через развязывающие *RC*-цепочки ($R_{10}C_5$ и $R_{13}C_6$). В результате действия строб-импульса на базе транзистора T_2 возникают перепады напряжения в пределах от +150 до —250 *мв*. Напряжение —250 *мв* удерживает селектор в отпертом состоянии в течение времени измерения.

При измерении интервала времени запуск формирователя строб-импульса по внешним входам *Пуск* и *Стоп* производится с помощью импульсно-потенциальных схем совпадения (C_{14}, $Д_{13}$, R_{31}, C_{15}, $Д_{14}$, R_{32}, R_{28}). Диоды $Д_{13}$ и $Д_{14}$ при измерении частоты, периода и длительности импульсов различной полярности заперты отрицательным напряжением через резистор R_{28}. При соединении с корпусом общей точки *б* резисторов R_{28}, R_{31} и R_{32} (через переключатель B_{16}) с диодов снимается запрет и схема формирователя становится подготовленной к запуску внешними сигналами.

Запускающие сигналы должны иметь положительную полярность; входные усилители благодаря их инвертирующему свойству производят запуск триггеров на транзисторах T_4—T_7 импульсами отрицательной полярности.

В связи с тем, что в триггерах формирователя применены транзисторы структуры *n-p-n*, переключение транзисторов T_4 и T_6 в исходное отпертое состояние производится подачей импульса отрицательной полярности на их коллекторы (через диоды $Д_3$ и $Д_4$). С целью инвертирования импульса, поступающего с выхода устройства сброса, в схему формирователя введен дополнительный каскад на транзисторе T_{10}. До подачи на его вход импульса он заперт отрицательным напряжением. Импульс с выхода T_{10} подается также на цепи сброса декады младшего разряда.

Для питания коллекторных цепей транзисторов формирователя использован кремниевый стабилитрон $Д_{17}$.

ХРОНИЗАТОР, УЗЕЛ СБРОСА

Каскад на транзисторе T_1 (рис. 16) выполняет роль хронизатора, так как он управляет работой схем формирования времени индикации и формирования импульса сброса.

В автоматическом режиме каскад управляется перепадами коллекторного напряжения транзистора T_7 (рис. 15). Во время действия строб-импульса транзистор T_1 заперт; через резисторы R_2, R_3 и диод $Д_1$ происходит заряд конденсатора C_1 до напряжения —12 *в*.

Это напряжение через резистор R_7 приложено к диоду $Д_2$ и удерживает его в запертом состоянии, препятствуя тем самым прохождению синхроизирующих импульсов с частотой следования 10 *гц* на одновибратор (T_2 и T_3). Одновибратор служит для запуска узла сброса.

После окончания действия строб-импульса транзистор T_1 отпирается и начинается разряд конденсатора C_1 через резисторы R_3, R_4 и транзистор T_1.

Запирающее напряжение на диоде $Д_2$ понижается и в определенный момент импульс синхронизации проходит на вход одновибратора и запускает его. Постоянная времени разряда конденсатора определяет время индикации результата измерения на электронном счетчике; необходимое время индикации устанавливается с помощью переменного резистора R_4.

Одновибратор собран на транзисторах T_2 и T_3. В исходном состоянии транзистор T_2 отперт, а T_3 заперт. Конденсатор C_3 заряжен почти до напряжения питания. Фронт синхронизирующего

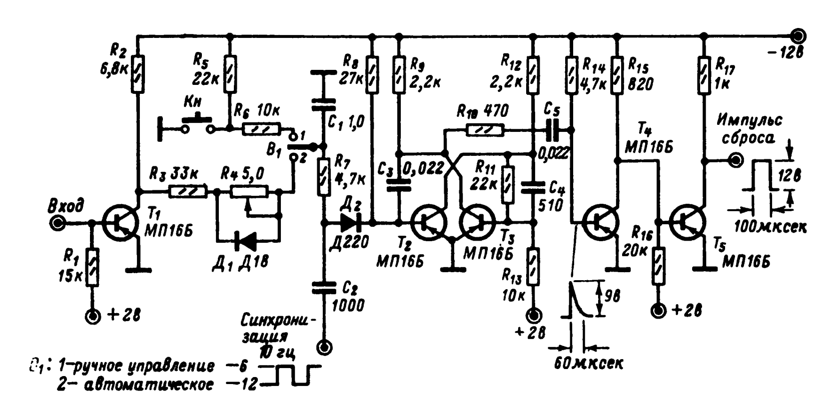


Рис. 16. Схема хронизатора и узла сброса.

импульса запирает транзистор T_2, при этом отпирается транзистор T_3. Конденсатор C_3 разряжается через отпертый транзистор T_3 и резистор R_8, положительный потенциал на базе T_2 уменьшается и в некоторый момент одновибратор возвращается в исходное состояние. С коллектора транзистора T_3 снимается положительный импульс, фронт которого запускает узел формирования импульса сброса.

Узел сброса состоит из двух каскадов усиления на транзисторах T_4 и T_5; в исходном состоянии транзистор T_4 отперт, а T_5 заперт.

Положительный перепад коллекторного напряжения транзистора T_3 запирает T_4. Отрицательный импульс, возникающий при этом на коллекторе T_4, отпирает транзистор T_5 до насыщения. С коллектора T_5 снимается положительный импульс сброса. Последовательная RC-цепочка (R_{10}, C_5) определяет длительность импульса сброса (100 *мксек*).

Переключение автоматики с автоматического пуска на ручной производится с помощью тумблера B_1. При разомкнутой кнопке *Кн* конденсатор C_1 заряжается до напряжения —12 *в* через резисторы R_5 и R_6. Как и в случае автоматического пуска, это напряжение через резистор R_7 приложено к диоду $Д_2$ и надежно запирает его.

При нажатии кнопки *Кн* точка соединения резисторов R_5 и R_6 соединяется с корпусом и конденсатор C_1 начинает разряжаться через резистор R_6.

Формирование импульса сброса протекает так же, как и в случае автоматического пуска.

КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР

У частотомеров промышленного производства, предназначенных для частотных и временны́х измерений в широком диапазоне, временна́я база выдает декадными ступенями стандартные частоты в пределах от 10 *Мгц* до 1 *гц;* в генераторе калиброванной частоты наиболее часто применяется кварцевый генератор с частотой 5 *Мгц*. Дальнейшее преобразование частоты кварцевого генератора с целью получения ряда стандартных частот состоит в ее умножении и делении.

С целью упрощения конструкции и повышения надежности в описываемом приборе использован кварцевый генератор с частотой 2 *Мгц*.

Генератор собран по трехточечной схеме с емкостной связью. Транзистор T_1 (рис. 17) кремниевый, высокочастотный типа 2Т312Б. Емкость конденсатора C_3, связывающего цепь эмиттера с базой, значительно превышает емкость конденсатора, соединяющего эмиттер с землей. Это необходимо для преобразования полного сопротивления. Катушка L_1, соединенная последовательно с кварцем, облегчает условия самовозбуждения. Подстройка частоты в пределах $\pm 15 \cdot 10^{-6}$ производится с помощью подстроечного конденсатора C_2. Напряжение смещения для базы транзистора T_1 определяет делитель R_1 и R_2. Резистор R_3 в цепи эмиттера обеспечивает стабилизацию по постоянному току при работе в широком диапазоне температур. Контур C_6, L_2 в цепи коллектора предотвращает работу на гармониках.

Применение в контуре значительной емкости (C_6) сохраняет стабильную работу каскада при смене транзистора T_1. Высокочастотный дроссель L_3 и фильтр R_4, C_7 развязывают коллекторную цепь от источника питания.

Через последовательную *RC*-цепочку R_5, C_8 напряжение с контура генератора подается на вход буферного каскада (транзистор T_2), в коллекторной цепи которого включен высокочастотный трансформатор L_4, $C_{10}L_5$. Со вторичной обмотки последнего сигнал подается на базу транзистора T_3, входящего в каскад умножения. В этом каскаде происходит умножение частоты генератора до 10 *Мгц*. Эта частота используется для получения меток времени с длительностью 0,1 *мксек*. Каскад представляет собой усилитель сигнала низкого уровня в режиме С со стабилизацией по постоянному току. Кремниевый диод $Д_1$, включенный в прямом направлении, предназначен для стабилизации потенциала базы транзистора T_3. Контур в коллекторной цепи настроен на частоту 10 *Мгц;* выходное напряжение снимается со вторичной обмотки трансформатора L_7.

Для уменьшения влияния внешней нагрузки на контур вторичная обмотка зашунтирована резистором R_{16}. Напряжение, снимаемое со вторичной обмотки через C_{19}, используется при самоконтроле прибора. Напряжение, поступающее через резистор R_{20}, используется в качестве стандартной частоты. Все контуры, исключая L_1, заключены в броневые сердечники типа СБ-1а. Индуктивности контуров имеют следующие данные (в микрогенри): $L=1{,}12$, $L=50$, $L=20$, $L=21$, $L=2{,}1$, $L=0{,}5$.

Стандартная частота 1 *Мгц* получается путем деления на 2 частоты кварцевого генератора (2 *Мгц*) с помощью высокочастотного триггера (транзисторы T_5 и T_6).

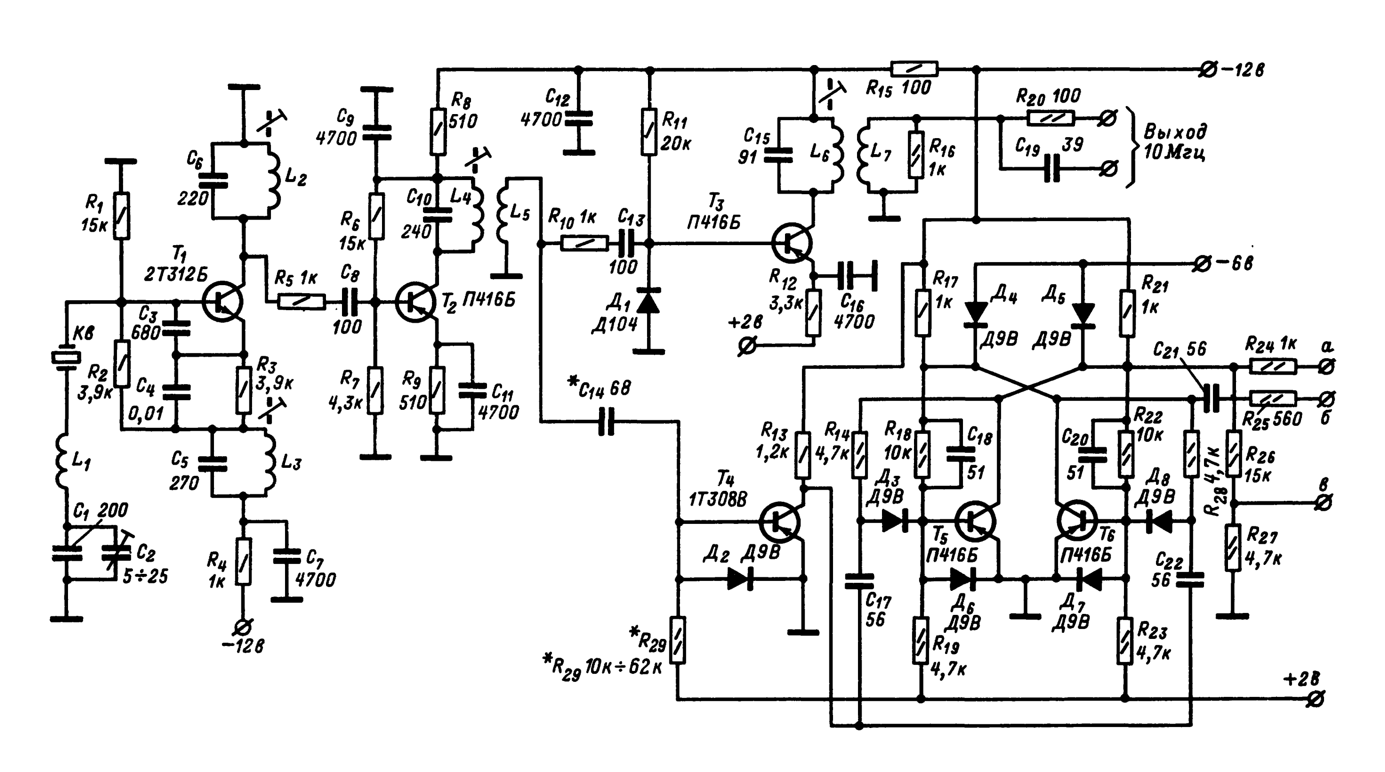


Рис. 17. Схема кварцевого генератора 2 *Мгц* и умножителя частоты 2 *Мгц*×5 (*а*, *б* и *в* — выходы частоты 1 *Мгц*).

Для запуска триггера в схему генератора введен формирователь импульсов на транзисторе T_4. На вход последнего сигнал подается со вторичной обмотки L_5 высокочастотного трансформатора буферного каскада. Для получения импульсов положительной полярности, необходимых для запуска триггера, исходное состояние формирователя (запертое) определяет делитель, в состав которого входят резистор R_{29} и диод $Д_2$.

Триггер собран по схеме с управляемым запуском на базы со счетным входом. Для повышения быстродействия в нем использованы высокочастотные транзисторы типа П416Б и применена фиксация коллекторного напряжения запертых транзисторов на уровне 6 *в*.

Сигнал с частотой 1 *Мгц*, снимаемый с выхода триггера (точка *б*) через последовательную *RC*-цепь (R_{25}, C_{21}), используется для запуска делительной декады, осуществляющей деление частоты 1 *Мгц* на 10. Сигнал, снимаемый с делителя R_{26} и R_{27} (точка *в*), служит в качестве сигнала стандартной частоты 1 *Мгц*. Импульсы, снимаемые через резистор R_{24} (точка *а*), используются при самоконтроле прибора.

ДЕЛИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

Для получения меток времени с периодом от 1 *мксек* до 1 *сек* служат декадные делители частоты, называемые иначе делительными декадами. Принципиальная схема декады представлена на рис. 18.

Каждая декада состоит из четырех симметричных триггеров с двумя устойчивыми состояниями, включенных последовательно. Триггеры собраны по схеме с управляемым запуском на базы. Для повышения скорости переключения в декаде, предназначенной для деления частоты 1 *Мгц*, введена фиксация коллекторного напряжения запертых транзисторов на уровне —6 *в*. С помощью фиксации предотвращается насыщение транзисторов триггеров. Уменьшение постоянной времени дифференцирующих цепей триггера $Тг_1$ (транзисторы T_1, T_2) также способствует повышению быстродействия.

Запуск триггеров осуществляется импульсами положительной полярности, подаваемыми в цепи баз транзисторов через разделительные диоды. Вследствие односторонней проводимости разделительных диодов переброс каждого последующего триггера возможен лишь при переходе выходного транзистора предыдущего триггера из запертого состояния в отпертое, т. е. при формировании на коллекторе транзистора положительного перепада напряжения.

Как известно, коэффициент деления системы четырех последовательных триггеров равен 16. Для получения десятичного пересчета в декаде применена обратная связь с триггера $Тг_4$ (транзисторы T_7 и T_8) на $Тг_2$ (транзисторы T_3 и T_4), которая позволяет ввести в схему 6 дополнительных импульсов и тем самым получить выходной импульс после поступления на входе декады лишь 10 импульсов.

Более подробно ознакомиться с работой декады можно по таблице электрических состояний ее триггеров (табл. 1) в зависимости от количества импульсов, поступивших на вход декады; насыщенное состояние транзисторов обозначено 1, запертое — 0. За исходное принимается такое состояние декады, при котором левые транзисторы всех 4 триггеров отперты.

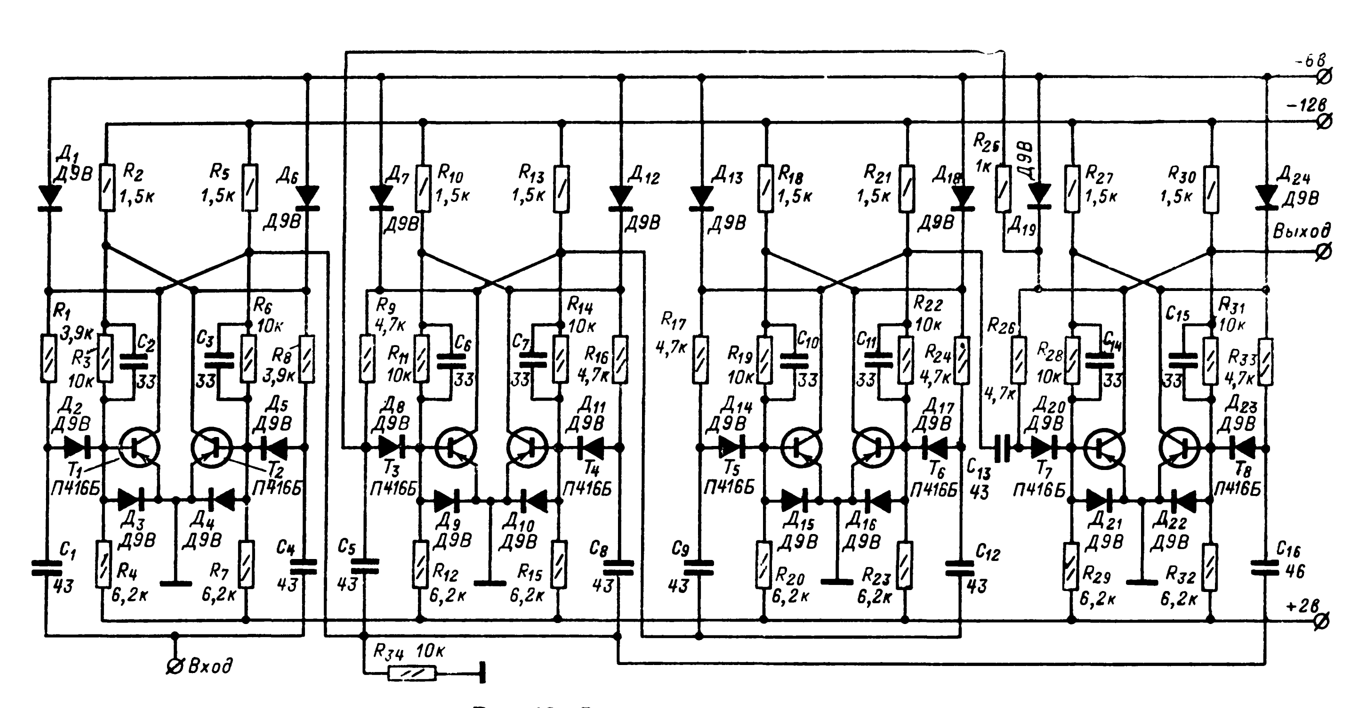


Рис. 18. Схема делительной декады.

Первый положительный импульс, поступающий на вход декады, опрокидывает только триггер $Тг_1$.

Второй входной импульс вновь опрокидывает $Тг_1$; возникающий при этом положительный перепад коллекторного напряжения транзистора $Т_1$ опрокидывает триггер $Тг_2$. Триггеры $Тг_3$ и $Тг_4$ сохраняют свое исходное состояние. Четвертый импульс опрокидывает триггеры $Тг_1$, $Тг_2$ и $Тг_3$. Шестой импульс опрокидывает

Таблица 1

Триггеры	Импульсы										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Тг_1$	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
$Тг_2$	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
$Тг_3$	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
$Тг_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

триггеры $Тг_1$ и $Тг_2$; восьмой импульс — все четыре триггера. При этом по цепи обратной связи вводится запрет на триггер $Тг_2$, предотвращающий его запуск под действием десятого импульса. Десятый импульс после опрокидывания триггера $Тг_1$ по обходному пути (через конденсатор C_{16}) воздействует на триггер $Тг_4$, переводя его вновь в единичное состояние. На выходе декады появляется выходной положительный импульс (импульс «переполнения»), а с триггера $Тг_2$ снимается запрет; все триггеры декады возвращаются в исходное состояние.

Делительные декады, предназначенные для деления более низких частот (100 *кгц* и ниже), имеют следующие отличия: отсутствуют цепи фиксации; используются низкочастотные транзисторы (типа МП16Б); постоянная времени дифференцирующих цепей должна соответствовать нижнему пределу запускающих частот.

В предлагаемой блок-схеме частотомера запуск формирователя строб-импульса осуществляется с помощью декадного делителя, который построен по схеме низкочастотной делительной декады.

Для получения времени измерения 0,1, 1 или 10 *сек* на вход декадного делителя подаются импульсы с частотами 100, 10 или 1 *гц*, снимаемые с выходов соответствующих делительных декад.

Блок-схема низкочастотного декадного делителя представлена на рис. 19,*а*.

Декадный делитель в отличие от делительной декады имеет цепи сброса, назначение которых заключается в следующем.

Время между сбросом и началом измерения является неиспользуемым — «мертвым», при измерении частоты (при времени измерения 10 *сек*) оно может достигать 10 *сек*. «Мертвое» время в приборе возникает за счет несинхронности во времени импульсов сброса и выходных импульсов декад, на вход которых поступают сигналы от кварцевого генератора. Для сокращения «мертвого» времени вводится сброс триггеров декадного делителя на 9.

Импульс с выхода декадного делителя поступает в момент перехода из состояния 9 в 0 (или 10). Если счетчик и автоматика прибора приводятся в исходное состояние в момент, когда триггеры декадного делителя находятся в положении 0 или 1, до начала

измерения необходимо ожидать $1T$ или $0{,}9T$ соответственно, где T — выбранное время измерения; если же импульс сброса поступает в момент, когда делитель находится в состоянии 9, то «мертвое»

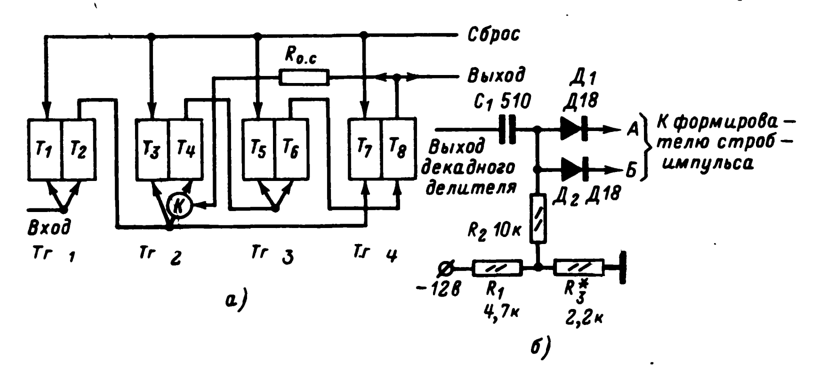


Рис. 19. Низкочастотный декадный делитель.

а — блок-схема; *б* — схема выхода.

время сокращается до $0{,}1T$. Сброс производится импульсами положительной полярности на коллекторы левых транзисторов триггеров через диоды.

ЭЛЕКТРОННЫЙ СЧЕТЧИК

Электронный счетчик частотомера состоит из пересчетных декад с индикаторами. Каждая декада представляет собой разряд счетчика. Количество декад в счетчике может быть различным, однако для представления более полной информации о результате измерения счетчик прибора, имеющего максимальное быстродействие 20 *Мгц*, должен содержать не менее 7 разрядов. При использовании трех пределов времени измерения (0,1—1—10 *сек*) частоту 20 *Мгц* можно измерить с достаточно высокой точностью — до 0,1 *гц*.

При использовании различного времени измерения на индикаторе счетчика могут быть воспроизведены и младший, и старший разряды числа.

Декада младшего разряда имеет быстродействие 20 *Мгц*. На входе декады включен формирователь, работающий в ключевом режиме, который одновременно является инвертором импульсов положительной полярности, снимаемых с выхода селектора. Далее следуют: триггер $Тг_1$ и промежуточный усилитель, который работает также в ключевом режиме и служит для повышения нагрузочной способности первого триггера; триггеры $Тг_2$, $Тг_3$ и $Тг_4$, эмиттерный повторитель в цепи потенциальной обратной связи; каскад сброса.

Применение в декаде высокочастотных транзисторов типа ГТ311И и импульсных диодов *Д18* обеспечивает необходимое быстродействие.

Второй разряд счетчика представляет декада с быстродействием 2 *Мгц*. Однако для обеспечения устойчивой работы необходим значительный запас по быстродействию — до 5 *Мгц*. С этой целью в декаде также использованы транзисторы ГТ311И.

Быстродействие декады третьего разряда составляет 475 *кгц*. Схему декады составляют четыре триггерные ячейки, собранные на транзисторах типа МП16Б (рис. 20).

Триггеры $Тг_1$, $Тг_2$ и $Тг_3$ включены по счетному входу, $Тг_4$ имеет раздельные входы.

Для осуществления пересчета на десять в декаде введена потенциальная отрицательная обратная связь (резистор R_{45}, диод $Д_8$).

Исходное состояние триггеров показано в табл. 2.

До прихода восьмого импульса декада работает как обычный двоичный счетчик.

Под действием восьмого входного импульса происходит опрокидывание триггера $Тг_4$. Отрицательное напряжение, возникающее при этом на коллекторе $Т_{16}$, оказывается приложенным (по цепи обратной связи) к аноду диода $Д_8$.

Цепь запуска триггера $Тг_2$ оказывается отключенной на время действия десятого импульса. Девятый импульс опрокидывает толь-

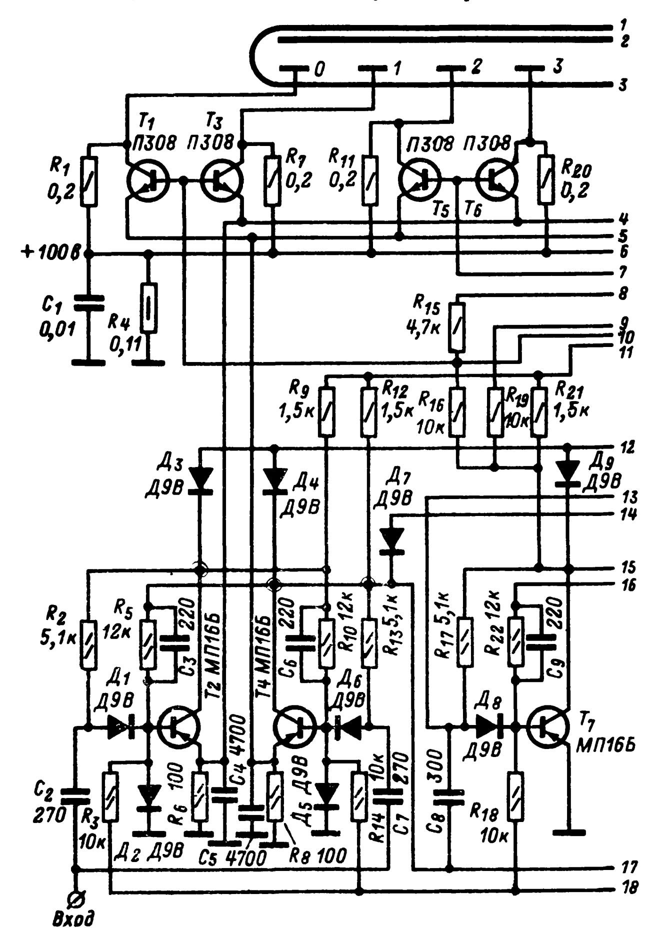
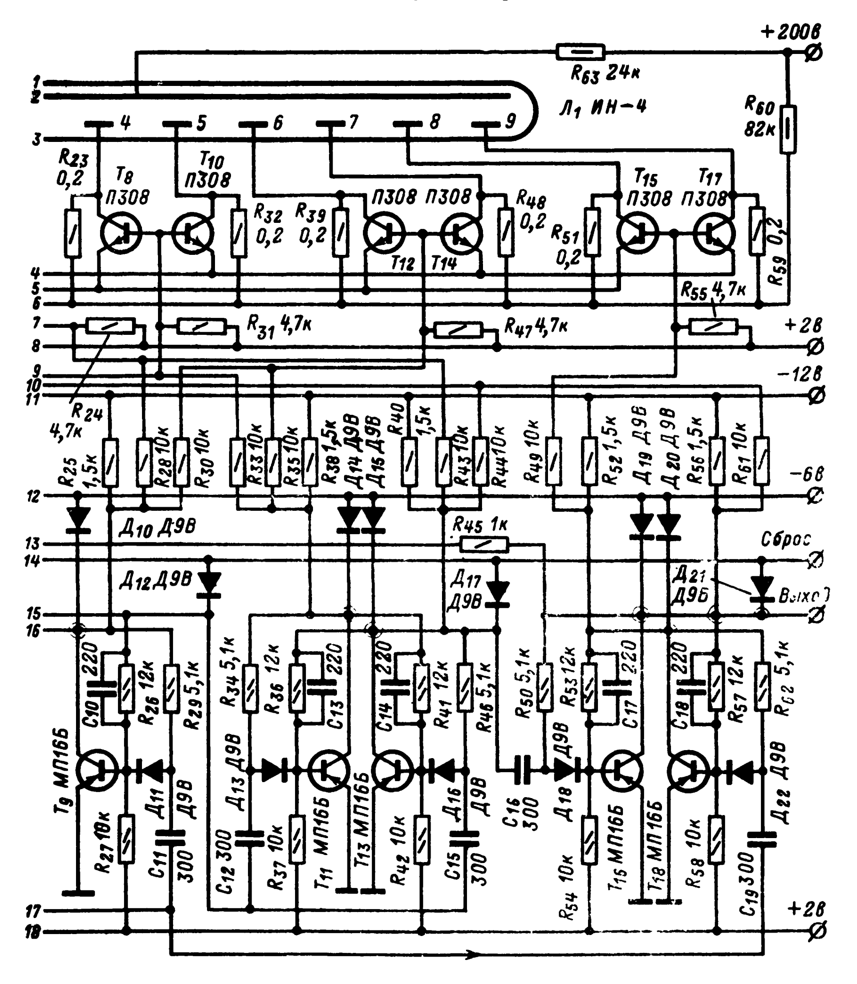


Рис. 20. Схема

ко первый триггер; десятый импульс с выхода $Тг_1$ по обходному пути воздействует только на триггер $Тг_4$ и опрокидывает его. В результате все триггеры оказываются в исходном состоянии, а на выходе возникает положительный импульс для запуска следующей декады. Переход $Тг_4$ в исходное состояние сопровождается снижением отрицательного потенциала на коллекторе $Т_{16}$. По цепи обратной связи снимается запрет с триггера $Тг_2$ и декада подготовлена к продолжению работы.

Все триггеры собраны по схеме с управляемым запуском на базы. Для снятия импульсов нерабочей полярности и ограничения перепадов напряжения на участке база — эмиттер транзисторов $Т_2$ и $Т_4$ включены диоды $Д_2$ и $Д_5$. Повышению быстродействия декады способствует применение диодной фиксации коллекторного напряжения запертых транзисторов. Уровень фиксации — 6 *в*.



пересчетной декады 475 *кгц*.

Установка (сброс) триггеров декады в исходное состояние осуществляется подачей импульса положительной полярности на коллекторы транзисторов T_4, T_7, T_{13} и T_{16}.

Триггеры развязаны от шины *Сброс* с помощью четырех диодов.

Индикация состояний триггеров декады производится с помощью газоразрядной лампы ИН-4. Для зажигания одной из цифр необходимо к соответствующему промежутку (анод — цифровой катод) приложить через ограничивающий резистор напряжение зажигания, равное 200 *в*.

Таблица 2

$Тг_1$		$Тг_2$		$Тг_3$		$Тг_4$	
$Т_4$	$Т_2$	$Т_7$	$Т_9$	$Т_{13}$	$Т_{11}$	$Т_{16}$	$Т_{18}$
1	0	1	0	1	0	1	0

Для обеспечения более благоприятного режима лампы ИН-4 питание ее анодной цепи производится пульсирующим током (за счет однополупериодного выпрямления). На горящем промежутке падает напряжение 150 *в*, на резисторе — остальные 50 *в*. Для гашения цифр напряжение на соответствующих промежутках должно быть снижено. Работой цифрового индикатора управляет дешифратор. Дешифратор состоит из матрицы, собранной из десяти резисторов и десяти ключей, роль которых выполняют транзисторы типа T_1, T_3, T_5, T_6, T_8, T_{10}, T_{12}, T_{14}, T_{15} и T_{17}. Ключевые транзисторы включены последовательно с катодами индикатора $Л_1$ и управляют включением (зажиганием) соответствующих цифр.

Матрица переводит двоично-десятичный код декады в десятичный и управляет ключевыми транзисторами по базовым цепям. По эмиттерным цепям ключевые транзисторы управляются перепадами напряжений, снимаемых с эмиттерных нагрузок первого триггера.

Для упрощения коммутации цифры разделены на две группы — четные и нечетные. Соответственно этому эмиттеры «четных» ключей присоединены к шине *Чет*, а эмиттеры «нечетных» — к шине *Нечет*. Шины в свою очередь соединены с эмиттерами транзисторов T_4 и T_2, входящих в триггер $Тг_1$; состояние триггера будет определять зажигание четных или нечетных цифр; единичное состояние обеспечит включение четных цифр, нулевое — нечетных.

В связи с тем, что максимальное коллекторное напряжение транзисторов П308, используемых в качестве ключей, равно 120 *в*, в схеме питания ИН-4 коммутируются напряжения, не превышающие 100 *в*. С этой целью в схему питания индикатора введен делитель (резисторы R_4 и R_{60}), с которого снимается напряжение +100 *в*; через развязывающие резисторы сопротивлением 200 *ком* это напряжение подводится к коллекторам ключей, которые в свою очередь соединены с цифровыми электродами — катодами ИН-4.

Анод индикатора ИН-4 соединен с источником напряжения +200 *в* через ограничивающий резистор R_{63}.

При горении одной из цифр за счет падения напряжения на резисторе R_{63} на аноде ИН-4 устанавливается напряжение +150 *в*.

На цифровом электроде в зависимости от состояния ключа будет устанавливаться напряжение +100 *в*, или 0, на промежутке анод — катод — соответственно +50 или +150 *в*.

При разности потенциалов 50 *в* цифра будет погашена, при разности 150 *в* цифра будет гореть.

Питание декады производится стабилизированными напряжениями: —12 *в*; —6 *в*; +2 *в* и нестабилизированным +200 *в*.

БЛОК ПИТАНИЯ

Блок питания обеспечивает необходимыми напряжениями все узлы, входящие в состав частотомера. Для питания коллекторных и базовых цепей транзисторов применяются стабилизированные напряжения, для питания индикаторов — нестабилизированные.

На рис. 21 приводится схема блока питания, выдающая следующие напряжения:

—12 *в* для питания коллекторных цепей (при токе нагрузки 0,8 *а*);

—6 *в* для цепей фиксации;

+2 *в* для цепей смещения;

—20 *в* для питания коллекторной цепи выходного каскада термостата (нестабилизированное);

+200 *в* для питания анодных цепей цифровых индикаторных ламп (нестабилизированное).

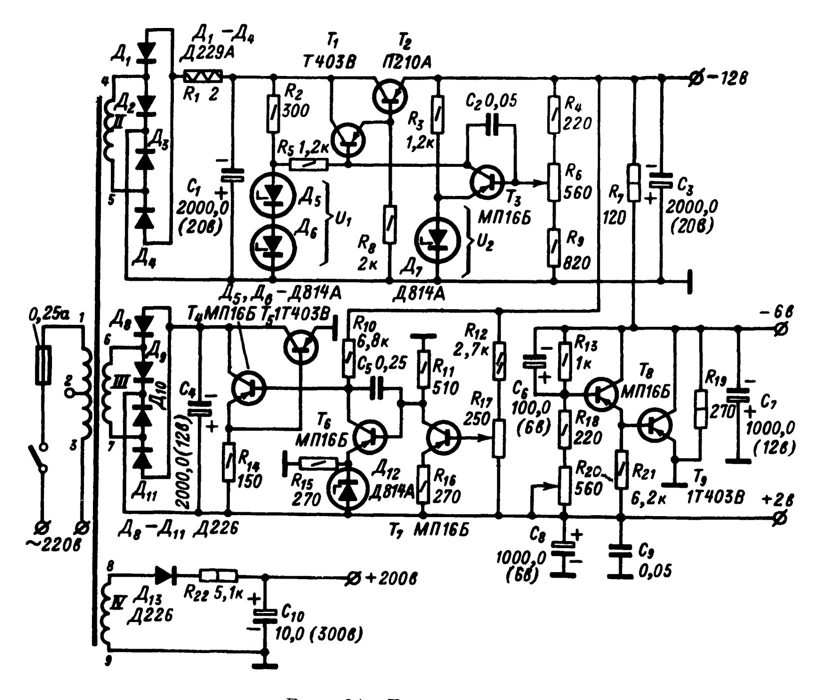


Рис. 21. Блок питания.

Переменное напряжение с обмотки трансформатора питания (выводы *4—5*) поступает на мостовой выпрямитель (диоды $Д_1$—$Д_4$) и через фильтр R_1, C_1 на полупроводниковый стабилизатор напряжения —12 *в*.

Одной из основных частей стабилизатора является регулирующий элемент, который представляет собой составной транзистор, выполненный на транзисторах T_1 и T_2. Один из них, T_2, является собственно регулирующим, второй — T_1 — эмиттерным повторителем, который управляет транзистором T_2 по току.

Необходимый режим составного транзистора задается с помощью резистора R_8.

Воздействие на регулирующий элемент осуществляется через цепь обратной связи, которую составляют делитель выходного напряжения R_4, R_6, R_9 и усилитель постоянного тока на транзисторе T_3 с источником опорного напряжения (для схемы стабилизатора —12 *в*). Последний состоит из стабилитрона $Д_7$ и резистора R_3. Резистор R_5 является коллекторной нагрузкой транзистора T_3. Конденсатор C_2 шунтирует переход коллектор — база транзистора T_3, предохраняя этим каскад усилителя постоянного тока от возникновения возбуждения. Цепь, состоящая из резистора R_2 и стабилитронов $Д_5$ и $Д_6$, представляет стабилизатор, питающий коллекторную цепь усилителя постоянного тока.

Разность уровней u_1 и u_2 равна $|\Delta u| = u_{R5} + u_{кэ}$, где $u_{кэ}$ — напряжение на участке коллектор — эмиттер транзистора T_3.

В цепи отрицательной обратной связи часть выходного напряжения, снимаемая с делителя R_6 и R_9, сравнивается с опорным напряжением.

Разность сравниваемых напряжений усиливается усилителем постоянного тока и управляет регулирующим элементом. Например, при увеличении выходного напряжения цепь отрицательной обратной связи воздействует на регулирующий элемент таким образом, что падение напряжения на нем увеличивается на величину, почти равную увеличению входного напряжения (с учетом коэффициента деления выходного напряжения делителем R_4, R_6, R_9).

В результате выходное напряжение практически остается неизменным. С помощью резистора R_6 производится регулирование выходного напряжения —12 *в*.

Цепи фиксации в частотомере питаются напряжением —6 *в*. Так как в результате работы значительного количества триггеров и других устройств напряжение 6 *в* подвержено значительным колебаниям, то для поддержания постоянства этого напряжения применен параллельный стабилизатор на транзисторах T_8 и T_9.

Напряжение —6 *в* получается в результате деления напряжения —12 *в* с помощью делителя; в качестве одного плеча делителя служит резистор R_7, второе плечо образует транзистор T_9, шунтированный резистором R_{19}. Переменный резистор R_{20} служит для установки напряжения —6 *в*.

С выводов *6, 7* обмотки *III* снимается переменное напряжение (около 9 *в*), которое после выпрямления (диоды $Д_8$—$Д_{11}$) подводится к схеме стабилизированного источника напряжения +2 *в*.

Стабилизатор собран по схеме последовательного регулирования. В регулирующем каскаде используются транзисторы T_4 и T_5.

В схеме сравнения и усилителя постоянного тока работает транзистор T_6. Кремниевый стабилитрон $Д_{12}$, включенный в прямом направлении, служит источником опорного напряжения.

Температурная компенсация выходного напряжения осуществляется с помощью делителя, в состав которого входит однокаскадный усилитель постоянного тока с глубокой отрицательной обратной связью (транзистор T_6). Переменный резистор R_{17} служит для точной установки выходного напряжения. Коллекторная цепь транзистора T_6 и базовый делитель T_7 питаются стабилизированным напряжением —12 *в*. С выводов *8*, *9* обмотки *IV* снимается напряжение 180 *в*, которое с помощью диода $Д_{13}$ преобразуется в пульсирующее. Фильтр $R_{22}C_{10}$ частично сглаживает пульсации. Питание пульсирующим током индикаторов ИН-4 способствует увеличению срока их службы, так как средний ток достигает примерно 1,5 *ма*. Яркость свечения цифр при таком снижении тока не ухудшается.

Все элементы схем стабилизаторов, за исключением конденсаторов фильтров, размещены на общей плате с печатным монтажом. Транзисторы T_2 и T_5 снабжены радиаторами для теплоотвода.

Необходимо иметь в виду, что для уменьшения фона заземляемые точки всех элементов соединены с корпусом в одном месте.

Силовой трансформатор выполнен на сердечнике типа ШЛ32×20 и имеет следующие моточные данные: обмотка *I* (сетевая 220 *в*), выводы *1—3*, 1 446 витков провода ПЭВ 2-0,31; обмотка *II*, выводы *4—5*, 125 витков провода ПЭВ 2-0,9; обмотка *III*, выводы *6—7*, 66 витков провода ПЭЛШО-0,25; обмотка *IV*, выводы *8—9*, 1 150 витков провода ПЭЛШО-0,25.

С выводов *2—3* обмотки *I* напряжение 100 *в* используется для питания неоновых лампочек подсвета табло и «запятых».

Ток холостого хода при аккуратной сборке сердечника трансформатора не должен превышать 25 *ма*.

КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА

Все узлы прибора смонтированы на печатных платах, изготовленных из фольгированного стеклотекстолита марки ФС-1,5. Платы имеют размеры 130×140 *мм* и снабжены разъемами.

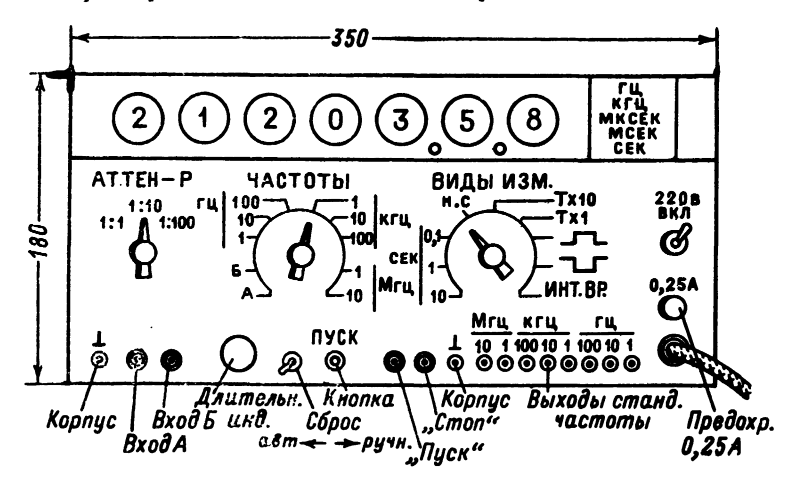


Рис. 22. Передняя панель прибора.

Конструкция прибора предусматривает расположение всех узлов в один ряд параллельно передней панели; платы устанавливаются вертикально, разъемами вниз.

На передней панели сосредоточены органы управления прибором, а также помещены гнезда-выходы стандартных частот (рис. 22).

Над панелью помещены индикаторы счетчика, прикрытые свето-

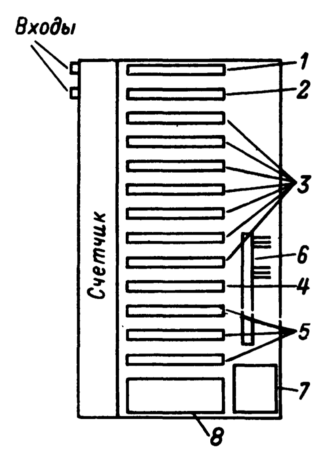


Рис. 24. Расположение узлов (вид сверху).

1 — входные усилители, НЧ формирующее устройство; *2* — ВЧ формирующее устройство, селектор, формирователь строб-импульса; *3* — декады 20 и 2 *Мгц*, 475, 250, 250, 250, 250 *кгц* (сверху вниз); *4* — делитель декадный, сброс; *5* — декады делителей 10 — 1 *гц*, 1 *кгц* — 100 *гц*; 100 — 10 *кгц*; *6* — стабилизаторы блока питания; *7* — трансформатор питания; *8* — термостат, кварцевый генератор, умножитель.

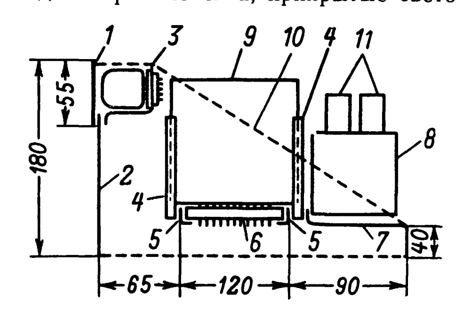


Рис. 23. Основные детали каркаса.

1 — светофильтр; *2* — передняя панель; *3* — держатель индикатора; *4* — направляющие плат; *5* — уголки; *6* — розетка разъема; *7* — шасси горизонтальное; *8* — трансформатор питания; *9* — монтажная плата; *10* — боковой кронштейн; *11* — конденсаторы фильтра.

фильтром из цветного оргстекла и табло с подсвечиваемыми наименованиями: *гц*, *кгц*, *мсек*, *мксек* и *сек*.

Каркас приборов образуют: передняя панель, держатель индикаторов счетчика, два дюралюминиевых уголка (20×20 *мм*) и горизонтальное шасси (рис. 23). Все эти элементы соединены между собой при помощи двух боковых кронштейнов. На уголках закреплены колодки разъемов и направляющие для плат.

Горизонтальное шасси соединено с одним из уголков. На нем размещены конденсаторы фильтров блока питания, трансформатор питания и плата стабилизаторов.

Остальные платы расположены в порядке, указанном на рис. 24.

Управление прибором осуществляется переключателями *Виды измерений* (B_1) и *Частоты* (B_2). На рис 25 показана схема соединений прибора.

С помощью переключателя B_1 производятся выбор времени измерения и переключение на измерение длительности импульсов обеих полярностей и периодов (платы $B_{1а}$ и $B_{1б}$). Плата $B_{1в}$ переключает «запятые»; $B_{1г}$ — подсвет табло: *гц* и *кгц*.

Переключателем B_2 производится подключение к формирующему устройству ФУ-1 стандартных частот при самоконтроле или выходов усилителей ВЧ или НЧ ($B_{2г}$) при измерении частот и периодов; $B_{2а}$ переключает подсвет табло: *мксек, мсек* и *сек*; $B_{2б}$ — «запятые»; $B_{2в}$ — экран между платами.

Применение съемных блоков и узлов в конструкции прибора значительно облегчает его налаживание и ремонт. Соединение съемных частей с основной схемой прибора осуществляется при помощи разъемов различных типов.

Основные условия, которым должны удовлетворять разъемы, — это минимальное сопротивление переходного контакта и простота конструкции.

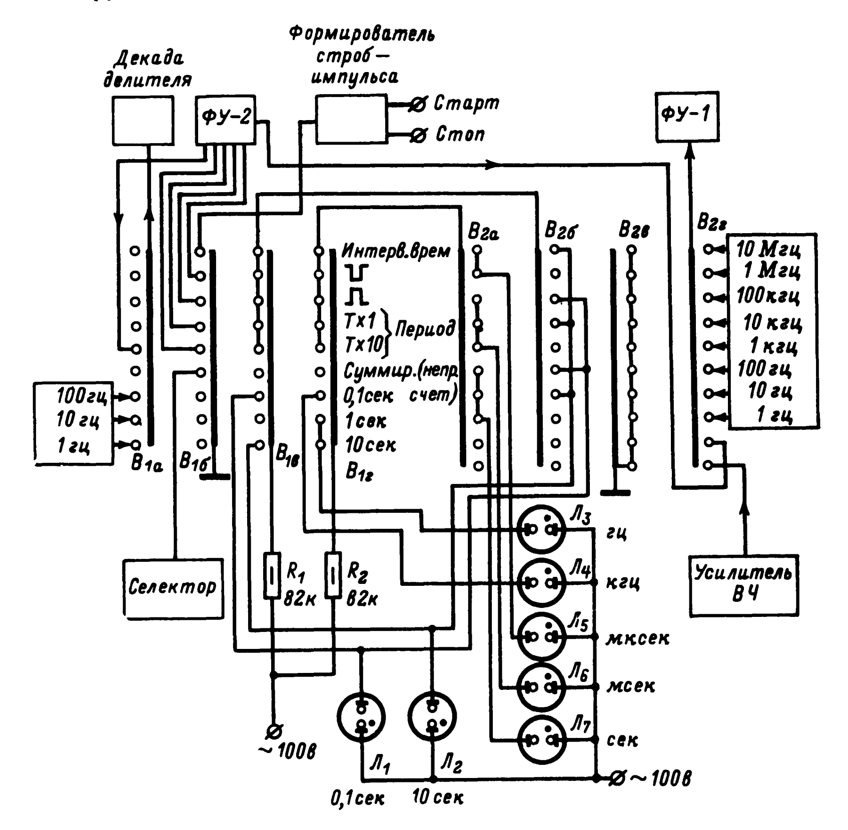


Рис. 25. Схема соединений переключателей B_1 и B_2 в приборе.

Основные части разъема — вилка и розетка — при их соединении должны обеспечивать механическую прочность и надежный электрический контакт.

В наиболее простом по конструкции разъеме вилка как отдельная часть разъема отсутствует. Ее роль выполняет одна из сторон печатной платы, на которой сосредоточены выводы схемы (рис. 26,*а*).

Розеткой называется колодка с продольным пазом, с ячейками для пружинящих контактов, которые обеспечивают соединение с выводами вилки. Контактирующие поверхности для надежности покрываются слоем золота толщиной 2 *мкм*.

Разъем с дублирующим контактом имеет повышенную надежность и также состоит из вилки и розетки (рис. 26,*б*).

Контакты вилки представляют собой покрытые серебром штыри. Вилка крепится на печатной плате и соединяется с выводами схемы путем пропайки контактов. При соединении частей разъема штыри с трением входят в соединение с контактами розетки. Последние

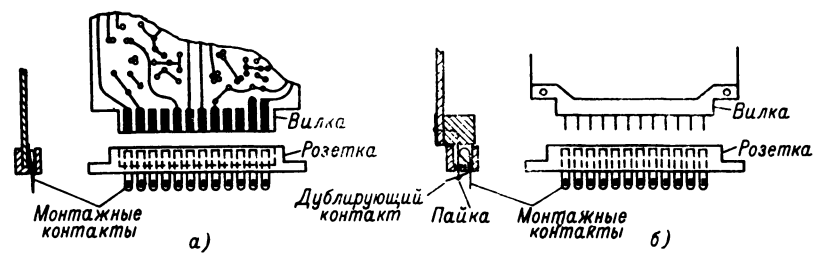


Рис. 26. Разъемы для печатных плат.

изготовлены из упругой бронзы и имеют по два вывода, один из которых является монтажным, другой — дублирующим: при установке платы на место штыри розетки припаиваются к дублирующим контактам.

В описываемом приборе использованы разъемы с дублирующим контактом: вилка — ПЭ3645028:, розетка — ПЭ3647001. Разъем имеет 30 контактов; так как потребное для схемы количество контактов не превышает 22, то излишняя часть разъема обрезается.

НАЛАЖИВАНИЕ ПРИБОРА

Прежде чем приступить к налаживанию узлов прибора, необходимо убедиться в том, что все блоки соединены между собой в соответствии со схемой; особенно это относится к цепям питания. Необходимая коммутация узлов для проверки их совместной работы может производиться или с помощью переключателей (в случае, если монтаж закончен), или путем временных соединений проводниками соответствующих контактов разъемов.

Налаживание прибора начинают с проверки работы схем стабилизаторов в блоке питания; вначале проверяется схема источника напряжения —12 *в* и пределы его регулирования, затем стабилизатор +2 *в* и в последнюю очередь —6 *в*. К выходам источников должны быть подключены вместо цепей питания основной схемы прибора соответствующие эквиваленты нагрузок. Затем с помощью регулировочного автотрансформатора изменяют напряжение сети в пределах от 180 до 240 *в*. Напряжения на выходах схем стабилизаторов не должны изменяться. Например, при исправных элементах и токе нагрузки 750 *ма* схема источника напряжения —12 *в* обеспечивает стабильность этого напряжения при изменении напряжения сети в указанных выше пределах. Величина пульсаций не превышает 0,5 *мв*. Затем переходят к кварцевому генератору. Определение погрешности частоты кварцевого генератора производится путем сравнения с частотой вторичного эталона частоты или с частотой первичного эталона, передаваемой по радио.

Относительная погрешность вторичного эталона частоты, используемого для проверки внутреннего кварцевого генератора, должна быть минимальной. Этому условию удовлетворяет одна из распространенных установок Ч0-3, выдающая стандартные частоты с погрешностью $2 \cdot 10^{-8}$.

Для сравнения частот рекомендуется применять осциллограф С1-13. Сравнение производится следующим образом. Частота 100 *кгц* (или 1 *Мгц*), снимаемая с гнезд-выходов делителей частоты, подается на вход *Y* осциллографа, а частота 100 *кгц* (или 1 *Мгц*) от эталона частоты — на вход *X*. Погрешность частоты внутреннего кварцевого генератора определяется по скорости вращения фигуры Лиссажу на экране осциллографа.

Если полный оборот фигуры на экране осциллографа происходит за время *t* (*сек*), то погрешность частоты кварцевого генератора будет равна:

абсолютная

$$\Delta f\ (гц) = \frac{1}{t\ (сек)},$$

относительная

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{1}{t\ (сек)\ f\ (гц)}.$$

Допустимой погрешностью частоты следует считать такую, когда один оборот фигуры Лиссажу происходит за время не менее 100 *сек* при сравниваемых частотах 100 *кгц* и не менее 10 *сек* при частотах 1 *Мгц*. Если время одного оборота меньше указанного, необходимо произвести подстройку частоты кварцевого генератора. Необходимо учитывать, что стабильность частоты кварцевого генератора в значительной степени зависит от четкой работы термостата.

После того как будет достигнута устойчивая работа кварцевого генератора, переходят к делительным декадам. К первой из них подводятся импульсы с частотой 1 *Мгц*. При исправных элементах с выхода декады будет сниматься частота 100 *кгц*. Так как все декады включены между собой последовательно, с выхода каждой из них будет сниматься частота, пониженная относительно входной в 10 раз.

Контроль деления частоты может производиться путем снятия осциллограмм и измерения длительностей наблюдаемых импульсов (с помощью меток). Измерение частот, получаемых в результате деления, можно также производить с помощью вспомогательного частотомера.

При проверке работы декадного делителя на его вход подают поочередно частоты 100, 10 и 1 *гц*. Импульсы положительной полярности, снимаемые через диоды, включенные на выходе декадного делителя, должны быть разделены интервалом времени соответственно 0,1—1—10 *сек*.

Проверка работы низкочастотных пересчетных декад производится в следующем порядке. Вначале проверяется правильность деления декадой частоты. Для этого с выхода делительной декады на вход проверяемой пересчетной декады подают импульсы с частотой 100 *кгц*.

В это время высокое напряжение на цепи индикации не подается. Устойчивое деление на 10 может быть достигнуто подбором сопротивлений резистора в цепи обратной связи (между триггерами

$Tг_4$ и $Tг_2$) и резистора, шунтирующего единичный выход триггера $Tг_1$. Затем проверяется исправность цепей индикации. С этой целью ко входу декады (при включенном высоком напряжении) подводятся импульсы с частотой 1 *гц*; при правильном монтаже и исправных элементах будут поочередно высвечиваться цифры от 0 до 9.

Следующей работой будет проверка исправностей триггеров формирователя строб-импульса и селектора. Подбором развязывающих *RC*-цепочек устанавливают необходимые перепады напряжения (+150÷350 *мв*) на базе транзистора T_2, входящего в схему селектора. Затем переходят к формирующему ВЧ устройству, включенному перед селектором.

От ГСС на вход формирующего ВЧ устройства подается сигнал с частотой 1 *Мгц* и напряжением около 0,5 *в* (для надежного срабатывания триггера Шмитта). После того как с помощью осциллографа будет проконтролирована работа триггера Шмитта, проверяют работу усилителя и селектора. При подаче отпирающего напряжения (в режиме суммирования) на базу транзистора T_2 (селектора) с выхода селектора (T_3) будут сниматься счетные импульсы положительной полярности треугольной формы с крутыми фронтами. Эти импульсы будут подсчитываться декадой младшего разряда (20 *Мгц*). С помощью осциллографа по меткам можно проверить коэффициент деления декады.

Далее необходимо установить частоту генератора 10 *Мгц*; с выхода декады должны сниматься импульсы с частотой 1 *Мгц*, которые в свою очередь должны подсчитываться декадой второго разряда, и т. д.

Затем вновь повышают частоту до 20 *Мгц* и проверяют работу *ФУ*, формирующего устройства, селектора и декад. Следует иметь в виду, что при описанной проверке сигнал с селектора поступает непрерывно, так как стробирование отсутствует. После этого проверяется работа прибора в течение определенного времени измерения (0,1—1—10 *сек*). Для этого выходы делительных декад с частотами 100, 10 и 1 *гц* посредством переключателя *Виды измерений* поочередно соединяются со сходом декадного делителя. С выхода последнего импульсы через диоды поступают на входы формирователя строб-импульса — *Пуск* и *Стоп*. При автоматической работе прибора удобнее проследить за перепадами напряжений на базе транзистора T_2 (селектора).

Если при этом на вход прибора подан сигнал, частота которого подлежит определению, то на счетчике будет периодически повторяться результат измерения.

Если это число превышает истинное значение, то это означает, что необходимо сократить время, в течение которого селектор отперт. Для этого путем шунтирования уменьшают сопротивление резистора R_6 (рис. 15) до получения точного результата измерения (при работе в режиме самоконтроля).

Если же результат измерения оказывается меньше истинного, то сопротивление R_6 необходимо увеличить. Эта работа выполняется путем подбора.

В последнюю очередь настраивается каскад умножения частоты.

Так как в контуре L_6C_{15} (рис. 17) возникают колебания пятой гармоники иногда с недостаточной амплитудой, то степень достаточности или недостаточности амплитуды выходного напряжения с частотой 10 *Мгц* может быть обнаружена в режиме самоконтроля

при измерении этой частоты. Индикация числа 4 000 *кгц* позволяет судить о том, что третья и последующая гармоники имеют малую амплитуду, число 8 000 *кгц* говорит о том, что мала амплитуда пятой гармоники. Амплитуда нужной гармоники может быть повышена путем настройки контура умножителя. Более надежная работа каскада умножения происходит при повышенной амплитуде входного напряжения. Повысить уровень на входе умножителя можно путем последовательного включения с диодом $Д_1$ дополнительного диода.

Число 1 000 000 *кгц*, повторяющееся на индикаторе счетчика, позволяет судить о правильной настройке каскада умножения.

РАБОТА ПРИБОРА В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Измерение длительности импульсов различной полярности. При работе в этом режиме время измерения задается импульсами, формируемыми из фронтов измеряемого импульса (рис. 27).

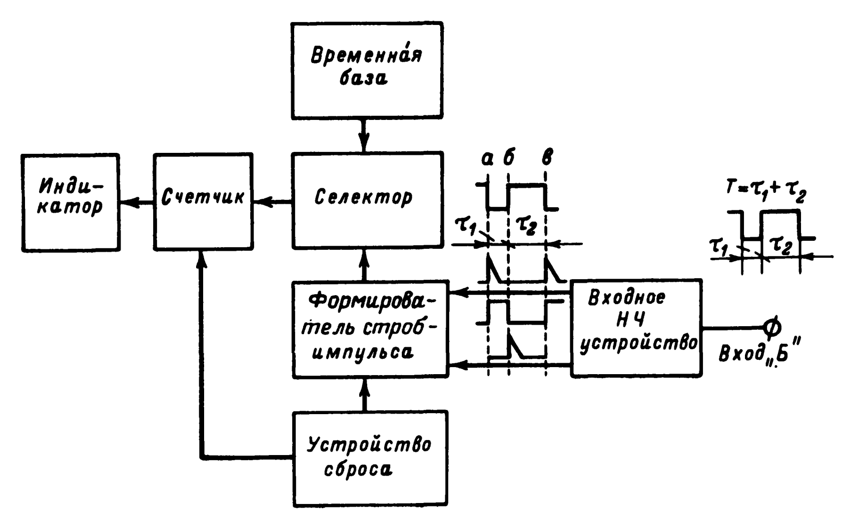


Рис. 27. Измерение длительности импульсов различной полярности.

Интервал времени, равный измеряемой длительности импульса, заполняется одной из частот временно́й базы. В работе принимают участие следующие блоки прибора: временна́я база (умножитель и делители частоты); формирующее ВЧ устройство; селектор; электронный счетчик; входное НЧ формирующее устройство.

Процесс измерения происходит в следующем порядке.

Сигнал, поступающий на вход НЧ формирующего устройства, после предварительного усиления подводится к триггеру Шмитта (рис. 14) и затем поступает на формирователь строб-импульса.

Так как запуск последнего производится импульсами положительной полярности, то для этой цели из входного сигнала необходимо выделить положительные фронты. Для этого используется инвертирование входного сигнала.

С выхода транзистора T_4 триггера Шмитта снимается сигнал, повторяющий полярность сигнала, поданного на вход прибора, а с выхода T_5 — инвертированный.

Период импульсов представляет сумму длительностей

$$T = \tau_1 + \tau_2.$$

Фронты обозначены *а*, *б* и *в*. При измерении длительности τ_1 (отрицательной полярности) для запуска формирователя строб-импульса используется положительный фронт инвертированного импульса *а*, для остановки — положительный фронт неинвертированного импульса *б*.

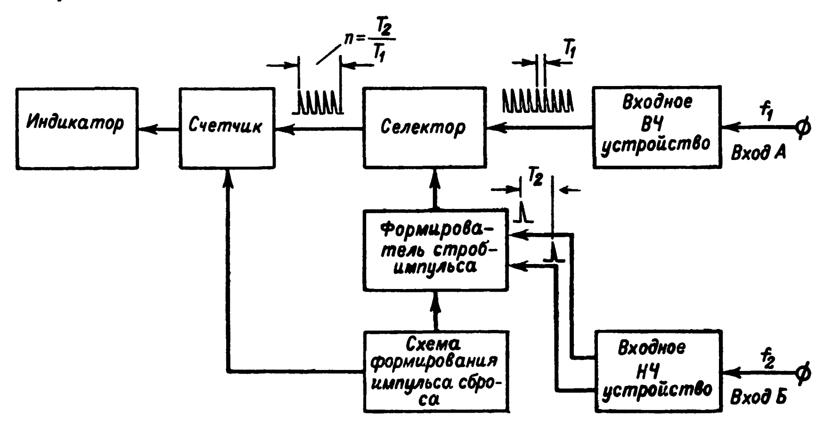


Рис. 28. Измерение отношения частот.

Для измерения длительности τ_2 (положительной полярности) запуск осуществляется положительным перепадом *б* неинвертированного импульса, остановка — положительным перепадом *в* инвертированного импульса.

Формирование импульсов для запуска формирователя строб-импульса производится с помощью дифференцирующих цепей, включенных на выходе триггера Шмитта. Для коммутации запускающих импульсов служат диоды. Электронный счетчик подсчитывает импульсы выбранной частоты заполнения $N = \tau_x f_0$. Перед началом измерения производится калибровка прибора. С этой целью на вход *Б* подается симметричный импульс с частотой следования 1 *кгц*, у которого $\tau_1 = \tau_2 = 500$ *мксек*.

Если при переключении полярности импульсов будут получены различные результаты, необходимо с помощью потенциометра *Уровень запуска* R_3 на входе формирующего устройства (рис. 14) установить одинаковые показания на счетчике. Использование более высокой частоты заполнения способствует повышению точности измерений.

Измерения могут производиться автоматически или вручную.

Измерение отношения частот. Процесс измерения отношения частот сходен с измерением периода. Отличие составляет исключение временной базы из процесса измерения, так как роль частоты заполнения выполняет одна из исследуемых частот (рис. 28).

При измерении участвуют: входной широкополосный усилитель *А*; входное НЧ формирующее устройство; формирующее ВЧ устройство; формирователь строб-импульса; селектор и электронный счетчик.

Частоты, отношения которых необходимо измерить, подаются на входы *А* и *Б*, причем более высокая частота подается на вход *А*. Период частоты следования, поданной на вход *Б*, задает время измерения, которое заполняется периодами частоты, поданной на вход *А*. Результат *n*, считываемый со счетчика, определяет отношение периодов измеряемых частот: $n=T_2/T_1$, где T_2 — период низшей из частот; T_1 — период более высокой частоты.

Переключатель прибора *Виды измерений* устанавливается при этом виде измерений в положение $T\times1$ (Период$\times$1).

Суммирование (счет импульсов). При необходимости иметь представление о длительности какого-либо процесса применяют суммирование, т. е. счет числа импульсов одной из стандартных частот базы времени или частоты, подаваемой извне. Этому виду измерения соответствует положение переключателя *Виды измерений — Непрерывный счет*. Селектор отперт в течение времени измерения, которое устанавливается вручную. Для повышения точности измерения применяют более высокую частоту заполнения.

Режим самоконтроля. Работа в режиме самоконтроля сходна с измерением частоты и применяется с целью проверки работоспособности прибора. В работе участвуют все блоки, за исключением входных усилителей *А* и *Б*. Для самоконтроля используется одна из частот, выдаваемых временной базой: 1 *гц* — 10 *Мгц*. Измеряемые частоты подаются прямо на формирующее устройство. Выбор необходимой частоты производится с помощью переключателя *Частота*. Время измерения выбирается в пределах 0,1—10 *сек*. При самоконтроле отсутствует погрешность дискретности, так как работа всех узлов прибора синхронизирована с частотой кварцевого генератора. В исправности делителей частоты, определяющих время измерения, а заодно и декадного делителя можно убедиться, если при измерении одной выбранной частоты устанавливать различное время измерения.

Для проверки правильности функционирования счетных декад прибор переводится в режим суммирования.

Частоту для контроля выбирают равной 1 *гц*. На цифровом индикаторе декады младшего разряда будут высвечиваться поочередно цифры от 0 до 9. Для проверки следующей декады необходима частота 10 *гц*, для третьей — 100 *гц* и т. д.

Измерение периода. В режиме измерения периода производится сравнение измеряемого периода T_x с периодом колебаний одной из частот временно́й базы по блок-схеме, приведенной на рис. 3.

При измерении периода в работе принимают участие те же узлы прибора, что и при измерении частоты, за исключением входного усилителя *А*.

Отличие заключается в том, что в рассматриваемом режиме работы время измерения, в течение которого селектор находится в открытом состоянии, задается одним или десятью периодами входного сигнала; электронный счетчик подсчитывает за это время периоды частоты заполнения f_0 (1 *гц* — 10 *Мгц*).

Число импульсов, поступивших на счетчик, будет равно:

$$N=f_0T_xn,$$

где T_x — величина измеряемого периода, *сек*;
n — число периодов усреднения;
f_0 — частота заполнения, *гц*.

При измерении десяти периодов на выходе усилителя *Б* включается декадный делитель, понижающий частоту входного сигнала в 10 раз (соответственно увеличивается время стробирования).

Погрешность дискретности при измерении периода снижается с повышением частоты заполнения, так как результат измерения обозначается на счетчике бо́льшим числом.

Измерение периода может производиться автоматически или однократно.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

УЗЛЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЧАСТОТОМЕРОВ

ВХОДНОЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЗАРУБЕЖНОГО ЧАСТОТОМЕРА А.1149

На рис. 29 изображена схема усилителя зарубежного частотомера А.1149, предназначенная для работы в диапазоне $20 \div 2{,}2 \cdot 10^7$ *гц*.

Схему усилителя составляют следующие каскады: входной эмиттерный повторитель (T_1); балансный усилитель (T_2, T_3); выходной эмиттерный повторитель (T_4).

Вход и выход усилителя закрытые.

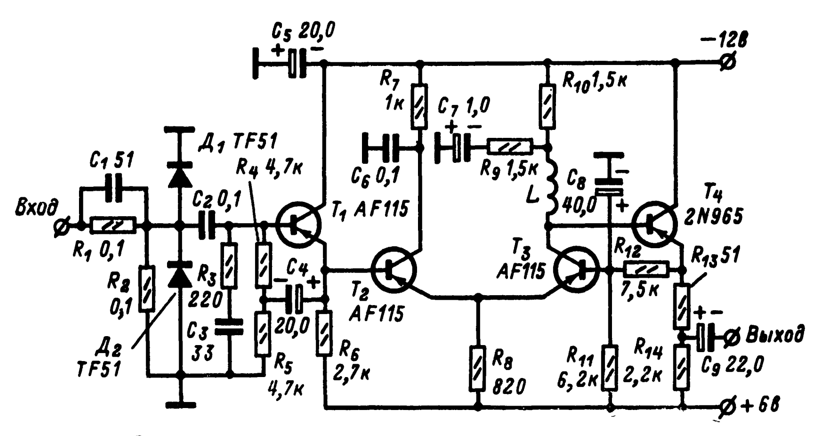


Рис. 29. Схема входного широкополосного усилителя частотомера А.1149.

Входная цепь первого каскада имеет ряд особенностей. Параллельная *RC*-цепь (R_1C_1) определяет входное сопротивление усилителя ($R_{вх}=100$ *ком*, $C=50$ *пф*); диодный ограничитель состоит из двух кремниевых диодов ($Д_1$ и $Д_2$); последовательная *RC*-цепь (R_3C_3), включенная параллельно входу, является корректирующей — с ее помощью выравнивается характеристика усилителя на частотах 100—400 *кгц*; сопротивление утечки базы сделано составным (R_4

и R_5), его средняя точка соединена через конденсатор C_4 с эмиттером транзистора T_1. Цепь обратной связи, состоящая из цепи R_4C_4, обеспечивает высокое входное динамическое сопротивление. Транзисторы T_2 и T_3, включенные по балансной схеме, имеют общую эмиттерную нагрузку и выполняют двойную роль — симметрирование и усиление напряжения. Для подъема усиления в области верхних частот в коллекторную цепь транзистора T_3 включена катушка индуктивности L (2,9 *мкгн*). Цепи R_7C_6 и $R_9R_{10}C_7$ служат для коррекции характеристики усилителя на низких частотах.

Для обеспечения стабильной работы выходного каскада (T_4) последний охвачен обратной связью — сигнал с эмиттерной нагрузки $R_{13}R_{14}$ подается на базу транзистора T_3 через резистор R_{12}. Коэффициент усиления на частоте 1 *Мгц* равен примерно 30.

ВИДЕОУСИЛИТЕЛЬ ПРИБОРА TR-3189B

В состав входного формирующего устройства частотомера TR-3189B входит двухкаскадный видеоусилитель (рис. 30), предназначенный для усиления частот в диапазоне 10 *гц* — 210 *Мгц*.

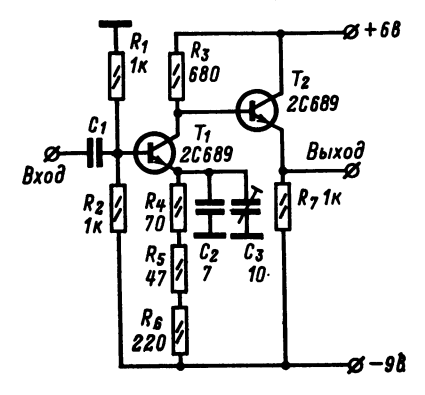


Рис. 30. Схема видеоусилителя TR-3189B.

Оба каскада выполнены на высокочастотных кремниевых транзисторах структуры *n-p-n*. Каскад на транзисторе T_1 является усилителем, собранным по схеме с общим эмиттером.

Элементы частотной коррекции включены в цепь эмиттера: конденсаторы C_2 и C_3 осуществляют коррекцию на высших частотах диапазона. Выходной каскад на транзисторе T_2 является эмиттерным повторителем. Неравномерность частотной характеристики составляет 10 *дб* в пределе частотного диапазона.

ДЕЛИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С ПЕРЕМЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ДЕЛЕНИЯ

При измерении частоты точность результата может быть повышена двумя способами — увеличением длительности стробирующего интервала $T_{эт}$ или путем измерения периода T_x. Запуск формирователя строб-импульса осуществляется с помощью делителей частоты; делители в свою очередь могут быть декадные или с переменным коэффициентом деления.

В обоих случаях длительность строб-импульса будет равна интервалу времени между двумя очередными импульсами, поступающими с выхода делителя. При использовании декадных делителей частоты увеличение интервала $T_{эт}$ происходит декадно, ступенями в 10, 100 и более раз. Быстродействие прибора при этом соответственно снижается.

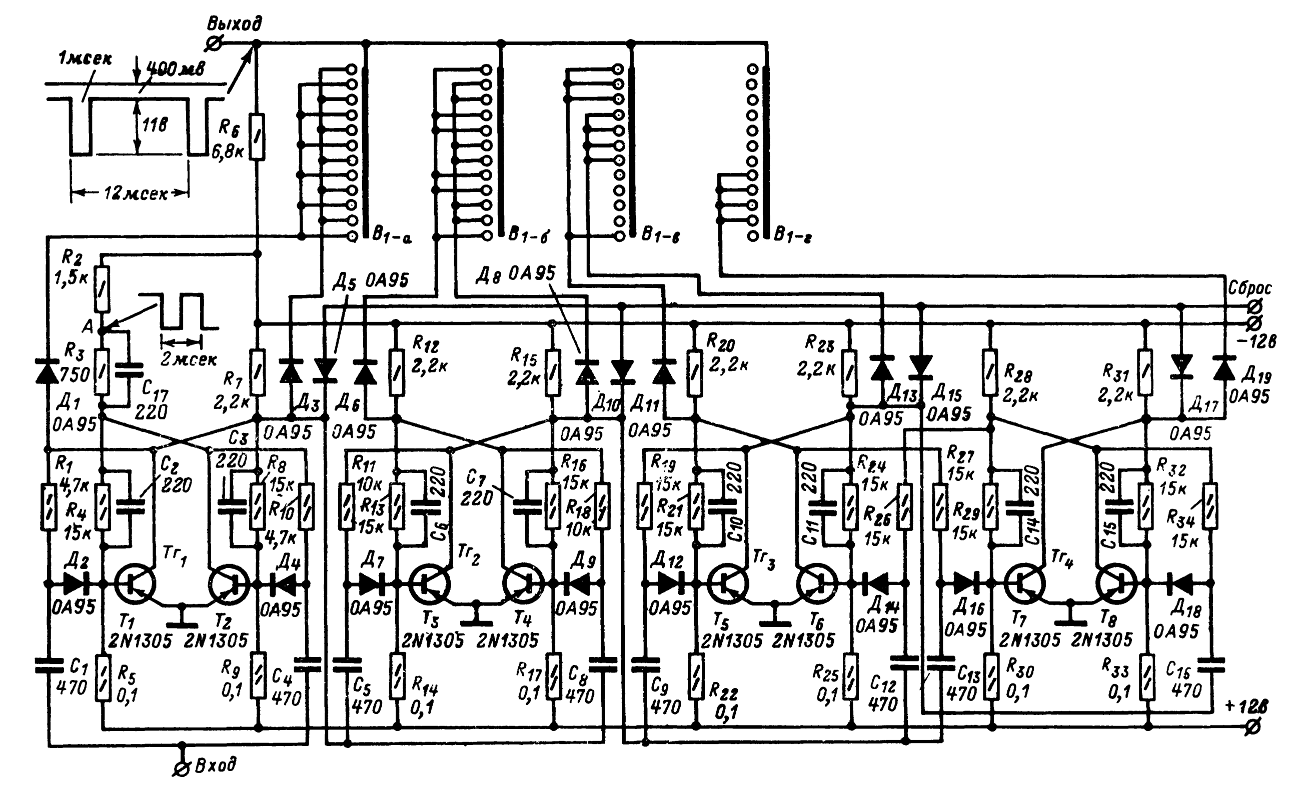


Рис. 31. Схема делителя частоты с переменным коэффициентом деления.

Для практических целей удобнее увеличивать длительность интервала $T_{эт}$ в N раз, где N — любое целое число от 1 до 12. Выбор необходимого числа N обеспечивается делителем частоты с переменным коэффициентом деления.

Делитель (рис. 31) состоит из четырех триггеров и схемы совпадения. Триггеры $Тг_1$ (T_1, T_2), $Тг_2$ (T_3, T_4), $Тг_3$ (T_5, T_6) имеют счетные входы, $Тг_4$ (T_7, T_8) — раздельные. Триггеры соединены между собой в следующем порядке: «единичный» выход $Тг_1$ соединен со входом $Тг_2$, а «единичный» выход последнего соединен со входом $Тг_3$ и «единичным» входом $Тг_4$; с «единичного» выхода $Тг_3$ сигнал подается на «нулевой» вход $Тг_4$. Схему совпадения составляют диоды, резистор нагрузки R_6 и переключатель B_1. Работа делителя происходит следующим образом. При отсутствии сигнала на входе схемы все триггеры находятся в единичном состоянии, в которое они переходят под действием импульса сброса. Импульс сброса положительной полярности и с амплитудой 12 *в* подается на коллекторы транзисторов T_1, T_3, T_5, T_7 через диоды.

При подаче входного сигнала происходит последовательное опрокидывание триггеров.

С целью развязки выхода $Тг_1$ от схемы совпадения коллекторная нагрузка транзистора T_2 составлена из двух резисторов — R_2 и R_3. С точки их соединения A снимается импульс, формирующий фронт строб-импульса (*Пуск*).

Переключатель B_1 коммутирует входы схемы совпадения: в соответствии с выбранным коэффициентом деления N на нагрузке схемы совпадения R_6 выделяется импульс отрицательной полярности, формирующий срез строб-импульса (*Стоп*).

При этом на трех коммутируемых входах потенциал должен быть равен —12 *в*.

Импульсы *Пуск* и *Стоп* запускают формирователь строб-импульса.

Длительность строб-импульса будет равна интервалу времени между двумя выходными импульсами делителя; интервал в свою очередь определяется выбранным коэффициентом деления.

Транзисторы и диоды, указанные на схеме, могут быть заменены соответственно транзисторами П416Б и диодами Д9В.

ЖДУЩИЙ МУЛЬТИВИБРАТОР-ДЕЛИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

Для деления частоты, помимо делительной декады, иногда используется устройство, представляющее собой последовательное соединение мультивибратора и триггера (рис. 32), входящих в состав одной из ступеней деления частоты частотомера ЧЗ-30. Ступень рассчитана для деления частоты 1 000 *гц*.

Мультивибратор (T_1, T_2) работает в ждущем режиме. Синхронизация момента опрокидывания мультивибратора производится импульсами с выхода предыдущего делителя. Коэффициент деления мультивибратора равен пяти. Необходимая зона деления на пять обеспечивается подбором сопротивления резистора R_2. В исходном состоянии транзистор T_1 отперт, T_2 — заперт. Входные импульсы подаются через конденсаторы C_3, C_1 и диод $Д_1$ на базу транзистора T_1. Положительный продифференцированный входной импульс, проходя через диод $Д_1$, запирает транзистор T_1 и удерживает его в этом состоянии до момента начала разряда конденсатора C_1. Тран-

зистор T_2 переходит при этом в отпертое состояние. Разряд конденсатора C_1 происходит через резисторы R_2, R_6 и транзистор T_2, поддерживая положительный потенциал базы транзистора T_1.

По окончании разряда конденсатора C_1 потенциал базы транзистора T_1 вновь становится отрицательным. Транзистор T_1 переходит в отпертое состояние, а T_2 — в запертое. Перезарядка конденсатора C_1 происходит через резисторы R_2, R_6 и коллекторную нагрузку транзистора T_2 — R_7 и R_8. В течение времени перезарядки схема становится нечувствительной к запускающим импульсам, так как

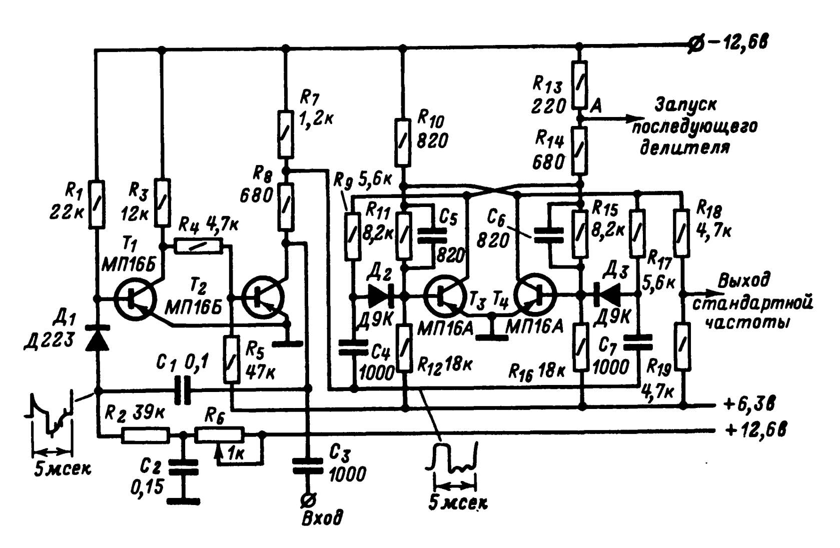


Рис. 32. Схема ждущего мультивибратора — делителя частоты.

отрицательный потенциал левой обкладки конденсатора C_1 является запирающим для диода $Д_1$. С помощью переменного резистора R_6 устанавливается необходимый режим транзистора T_1.

С выхода мультивибратора сигнал поступает на вход триггера, выполненного по схеме с управляемым запуском на базы (транзисторы T_3 и T_4). Импульс для запуска последующего делителя снимается с части коллекторной нагрузки транзистора T_3 (точка A).

Параллельно коллекторной нагрузке транзистора T_4 включена цепь, состоящая из резисторов R_{18} и R_{19}. Сигнал, снимаемый со средней точки этой цепи, используется в качестве стандартной частоты. Общий коэффициент деления устройства равен 10.

Схемы мультивибраторов, рассчитанных для деления других частот, отличаются значениями емкости конденсатора C_1 и сопротивления резистора R_2, причем значения емкостей обычно находятся в декадном соотношении.

Описанное устройство выгодно отличается от делительной декады простотой схемы; выходные импульсы имеют симметричную форму, что в свою очередь также является преимуществом, например для калибровки прибора при измерении длительностей импульсов различной полярности.

СЕЛЕКТОР НА ТУННЕЛЬНОМ ДИОДЕ

Туннельный диод в качестве селектора применен в частотомере Ч3-30, в котором он входит в состав высокочастотного формирователя.

Формирователь (рис. 33) предназначен для выработки положительных импульсов с параметрами, необходимыми для запуска счетной декады с быстродействием 20 *Мгц*. Сигнал поступает на вход-

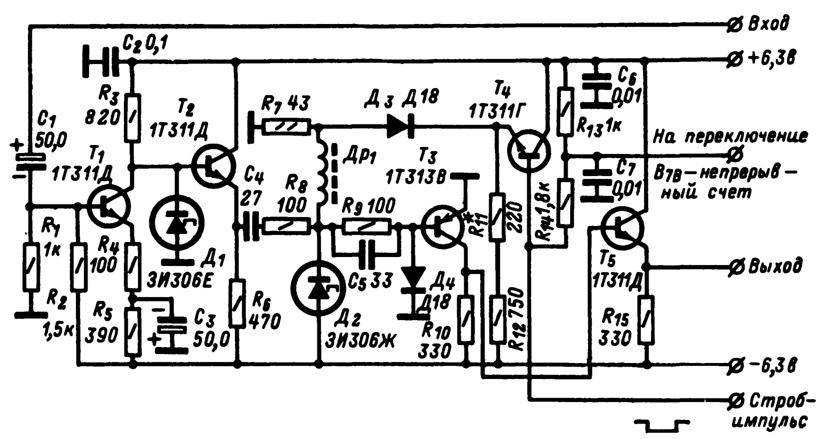


Рис. 33. Схема селектора на туннельном диоде.

ной каскад, собранный на транзисторе T_1 по схеме с общим эмиттером. Нагрузкой этого каскада служит собственно формирователь на туннельном диоде $Д_1$.

Сформированный сигнал поступает через эмиттерный повторитель T_2 на дифференцирующую цепочку R_8C_4. Импульсы отрицательной полярности, поступающие с дифференцирующей цепочки, запускают одновибратор на туннельном диоде $Д_2$, который одновременно выполняет функции селектора. Одновибратор выдает импульсы отрицательной полярности с постоянной амплитудой и длительностью. Импульс с выхода одновибратора через цепочку R_9C_5 поступает на усилитель, собранный на транзисторе T_3 по схеме с общим эмиттером, а затем на выходной эмиттерный повторитель T_5. Одновибратор-селектор, собранный на диоде $Д_2$, управляется строб-импульсом через эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе T_4. На время действия строб-импульса транзистор T_4 оказывается в запертом состоянии и режим одновибратора задается резисторами R_7, R_{11} и R_{12}. По окончании строб-импульса транзистор T_4 отпирается, и на его эмиттере появляется положительный потенциал. Диод $Д_3$ запирается. Рабочая точка одновибратора смещается к нулю. В таком режиме амплитуда запускающих импульсов оказывается недостаточной для запуска одновибратора и импульсы на выход схемы не проходят.

КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР 5 *Мгц*

Кварцевый генератор частотомера является внутренним источником стабильной частоты 5 *Мгц*. На рис. 34 приведена принципиальная схема кварцевого генератора частотомера Ч3-30.

Схему генератора составляют автогенератор с кварцем в цепи обратной связи и усилитель.

Автогенератор собран на транзисторах T_1 и T_2. Первый каскад собран по схеме с общей базой. Кварцевый генератор включен в цепь обратной связи между двумя малыми сопротивлениями эмиттерных нагрузок транзисторов T_1 и T_2 (резисторы R_4, R_7, R_9). Резонатор работает на частоте, близкой к последовательному резонансу. На этом участке характеристики динамическое сопротивление резона-

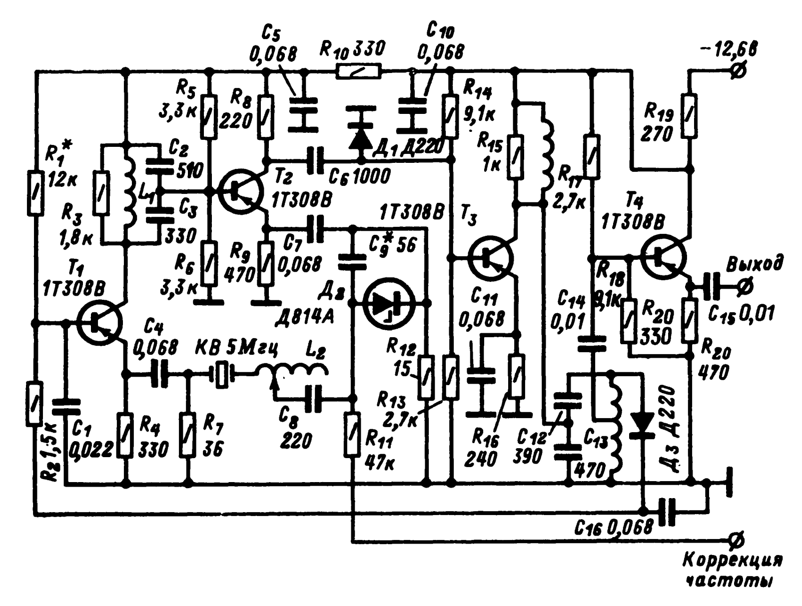


Рис. 34. Схема кварцевого генератора 5 *Мгц* частотомера Ч3-30.

тора составляет примерно 50 *ом*. Согласование сопротивления резонатора со схемой обеспечивается тем, что динамическое сопротивление кварца и сопротивление схемы в точках его подключения примерно равны. Цепь коррекции включает в себя катушку индуктивности L_2 и емкость обратного перехода диода $Д_2$. Грубая подстройка частоты производится подбором отвода индуктивности L_2 и вращением ее сердечника.

Точная коррекция частоты осуществляется изменением емкости перехода диода путем подбора емкости конденсатора C_9.

Коллекторная нагрузка транзистора T_1 выбрана резонансной; при такой нагрузке существенно возрастает коэффициент усиления каскада и предотвращается работа кварцевого генератора на одной из гармоник основной частоты.

Для расширения полосы резонансного контура последний шунтируется резистором R_3.

Генератор охвачен цепью автоматической регулировки усиления. В момент включения генератора рабочая точка транзистора T_1 находится в области большой крутизны характеристики, что способ-

ствует большому коэффициенту усиления схемы и созданию условий для возникновения генерации. По мере нарастания амплитуды колебаний цепь АРУ вырабатывает управляющий сигнал, смещающий рабочую точку транзистора в малосигнальную область характеристики, уменьшая тем самым коэффициент усиления схемы. Резистор R_1 служит для подбора начального напряжения смещения транзистора T_1. Цепь АРУ состоит из однополупериодного диодного детектора $Д_3$ и фильтра R_2, C_1 и C_{16}.

Напряжение на детектор подается с усилителя напряжения 5 *Мгц*. Каскад, собранный на транзисторе T_2 является эмиттерным повторителем по отношению к генератору и предварительным усилителем — по отношению к усилителю 5 *Мгц*.

Усилитель 5 *Мгц* собран на двух транзисторах T_3 и T_4. Каскад на транзисторе T_3 представляет собой резонансный усилитель, собранный по схеме параллельного питания. Связь с генератором слабая и осуществляется с помощью конденсатора C_6. Резонансиый контур нагружен выходным сопротивлением транзистора T_3, входным сопротивлением транзистора T_4 и детектором АРУ. Эмиттерный повторитель (T_4) предназначен для уменьшения влияния нагрузки через цепь АРУ на частоту кварцевого генератора.

УМНОЖИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Схема умножителя частоты прибора Ч3-30 (рис. 35) предназначена для выдачи частот 5, 10 и 20 *Мгц* при подаче на ее вход частоты 1 или 5 *Мгц* от высокостабильного источника.

Каскады умножителя производят:

а) умножение частоты от 1 до 5 *Мгц* или усиление частоты, если на вход поступает частота 5 *Мгц*;

б) умножение частоты от 5 до 10 *Мгц*;

в) умножение частоты от 5 до 20 *Мгц*.

Умножение частоты от 1 до 5 *Мгц* производится с помощью диодного умножителя на меза-диоде Д311 ($Д_1$), режим работы которого обеспечивается резистором R_1 и конденсатором C_1.

Дальнейшее усиление колебаний производится в трехкаскадном усилителе, собранном на транзисторах T_1—T_4. Общий коэффициент усиления усилителя не менее 10. Первый каскад усилителя (T_1) собран по схеме с общим эмиттером и активной нагрузкой в коллекторе. Второй каскад выполнен по каскодной схеме (T_2, T_3) для предотвращения самовозбуждения усилителя. Диод $Д_5$ и конденсатор C_{10} необходимы для устранения явления релаксации каскодного усилителя при значительном уровне сигнала частоты 1 или 5 *Мгц* на входе умножителя.

Нагрузкой каскада является резонансный контур (C_9 и $Тр_2$), индуктивно связанный с третьим каскадом усилителя, выполненным по схеме с общей базой и резонансной нагрузкой в коллекторе (C_{17}, $Тр_4$). Трансформатор $Тр_4$ имеет две вторичные обмотки. С одной из них (выводы *3—4—5*) снимается напряжение на делитель 5 *Мгц*, с другой (*6—7—8*) — на умножитель частоты от 5 до 10 *Мгц*. Последний состоит из диодного удвоителя ($Д_3$, $Д_4$), резонансного усилителя (T_8) и выходного эмиттерного повторителя (T_9), с нагрузки которого снимается напряжение на выход стандартных частот и на самоконтроль.

Умножитель частоты от 5 до 20 *Мгц* состоит из диодного умножителя (R_{12}, C_{13}, $Д_2$), нагрузкой для которого служит контур C_{12},

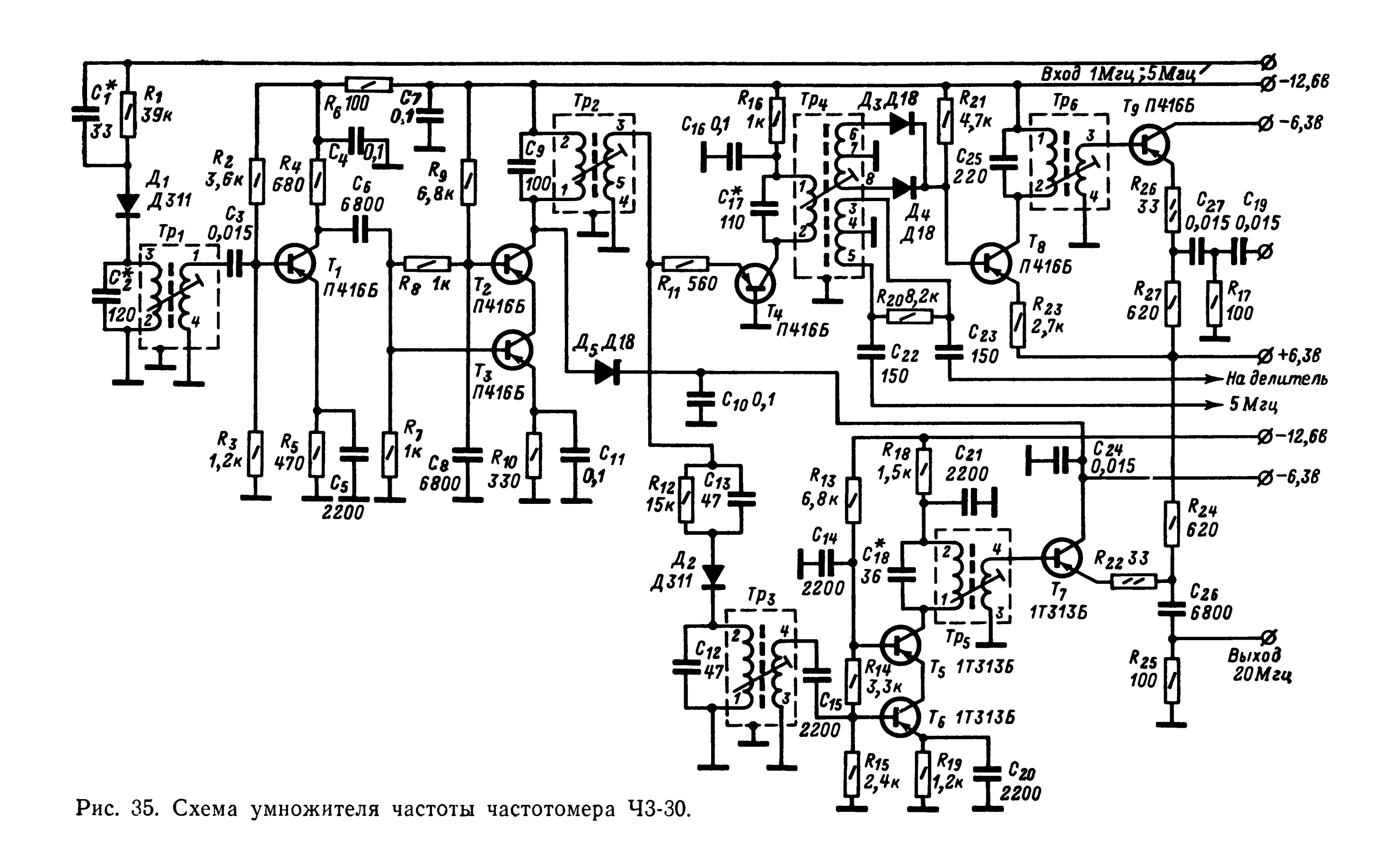


Рис. 35. Схема умножителя частоты частотомера Ч3-30.

$Тр_3$, настроенный на частоту 20 *Мгц*. Ко вторичной обмотке трансформатора $Тр_3$ подключен резонансный усилитель, выполненный по каскодной схеме на транзисторах $Т_5$ и $Т_6$. Со вторичной обмотки трансформатора $Тр_5$ напряжение с частотой 20 *Мгц* поступает через эмиттерный повторитель ($Т_7$) на выходной разъем.

Умножитель частоты от 5 до 10 *Мгц* (рис. 36) в приборе А.1149 работает следующим образом. Напряжение с частотой 5 *Мгц* с генератора поступает на вход резонансного усилителя на транзисторе $Т_1$.

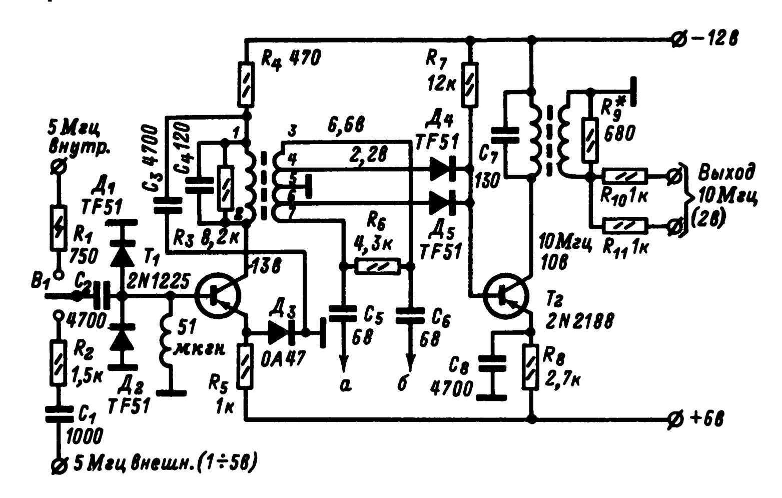


Рис. 36. Схема умножителя частоты частотомера А.1149.

Диоды $Д_1$ и $Д_2$ выполняют роль двустороннего ограничителя. Делитель R_5—$Д_3$ служит для стабилизации потенциала эмиттера $Т_1$. Нагрузкой коллектора является контур, в состав которого входит первичная обмотка высокочастотного трансформатора (выводы *1—2*) и конденсатор $С_4$. Резистор R_3 служит для расширения полосы частот. Вторичная обмотка имеет заземленную среднюю точку *5*. С выводов *4—6* снимается напряжение, которое подводится через диоды $Д_4$ и $Д_5$ к базе транзистора $Т_2$, выполняющего роль умножителя частоты. В коллекторной цепи $Т_2$ возникает переменная составляющая с удвоенной частотой. Для выделения второй гармоники частоты 5 *Мгц* служит контур, настроенный на частоту 10 *Мгц*. Со вторичной обмотки через резисторы R_{10}, R_{11} напряжение подводится к переключателю *Частота* для самоконтроля и на выход *Стандартные частоты*.

Для уменьшения влияния нагрузки на частоту контура вторичная обмотка шунтирована резистором R_9. Необходимое смещение транзистора $Т_2$ задается резисторами R_7 и R_8.

С выводов *3—7* снимается напряжение для запуска делителя частоты 5 *Мгц*.

Оба контура заключены в броневые сердечники из карбонильного железа. Значительные величины емкостей, входящих в контуры, обеспечивают стабильность частоты при смене транзисторов.

ТЕРМОСТАТ

Относительная погрешность частоты эталонного генератора $\delta_{эт}$ возникает в основном за счет изменения температуры окружающей среды. Для снижения $\delta_{эт}$ в схемах генераторов применяют высокостабильные элементы, при построении схем используется температурная компенсация, кварц применяется с малым ТКЧ (коэффициент, определяющий зависимость изменения собственной частоты кварца от изменений температуры). Для устранения влияния температуры на работу генератора кварц и остальные элементы схемы помещают в термостат, т. е. устройство, обеспечивающее постоян-

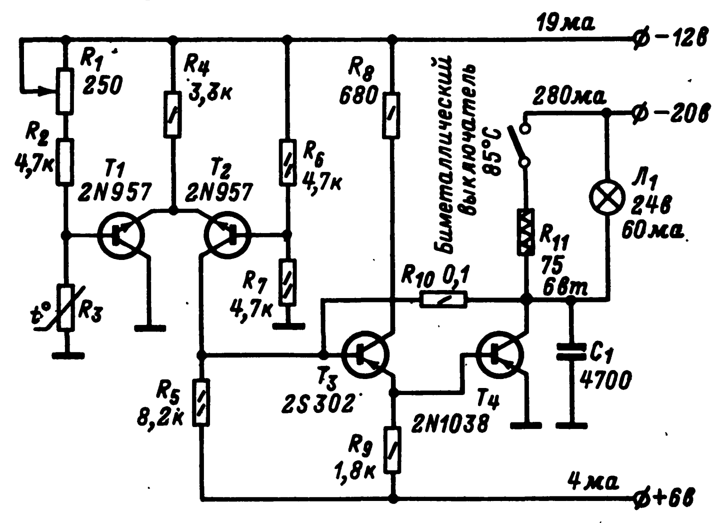


Рис. 37. Схема автоматики термостата частотомера А.1149.

ство температуры с высокой точностью. Для уменьшения влияния температуры окружающей среды на работу самого термостата температура внутри его камеры должна быть выше максимальной температуры, устанавливающейся внутри прибора. Так, у частотомера Ч3-12 номинальное значение температуры термостата равно 69±±0,5° С, точность поддержания — 0,001—0,005° С. Погрешность частоты кварцевого генератора после двухчасового прогрева составляет $\pm 2 \cdot 10^{-7}$ в интервале температур от 67 до 70° С.

Камера термостата изолирована от окружающей среды пенопластом, стекловолокном или другим теплоизолирующим материалом. Внутри камеры необходимая температура создается путем нагрева и поддерживается автоматически на определенном уровне. Помимо элементов схемы генератора, внутри камеры помещается автоматика термостата. На рис. 37 приведена схема автоматики термостата прибора А.1149. В качестве термочувствительного элемента используется терморезистор R_3, являющийся одним из плеч неуравновешенного моста. В диагональ моста включены входы балансного усилителя, собранного на транзисторах T_1 и T_2. На выходе балансного усилителя включен двухкаскадный усилитель, охваченный обратной связью (T_3 и T_4).

Коллекторная нагрузка транзистора T_4 (R_{11}) является нагревателем.

Нагреватель и кварц помещены в массивном металлическом корпусе; на одной из его внешних сторон закреплен терморезистор.

В момент включения прибора разбаланс моста определяет следующее состояние каскадов автоматики: транзистор T_1 заперт, транзисторы T_2, T_3 и T_4 отперты.

Через нагреватель и транзистор T_4 проходит ток. Происходит постепенный нагрев корпуса и вместе с ним пространства внутри камеры. По мере повышения температуры сопротивление терморезистора уменьшается. Происходящее при этом уменьшение разбаланса вызывает в свою очередь уменьшение проводимости транзистора T_4. Уменьшение тока через нагреватель замедляет повышение температуры.

При достижении определенного уровня температуры (70° C) происходит уравнивание процессов отдачи тепла в окружающее пространство и поступления его от нагревателя. Обратная связь, действующая между коллектором транзистора T_4 и базой T_3, способствует плавному изменению состояния транзистора T_4. В случае аварийного повышения температуры при 85° C срабатывает биметаллический выключатель, который разрывает цепь нагревателя.

Для термостатирования кварцевых генераторов помимо нагревательных термостатов применяются полупроводниковые. Последние более перспективны благодаря ряду преимуществ:

температура в нагревательном термостате всегда выше окружающей; в полупроводниковом же термостате температура внутри камеры может быть выше и ниже окружающей;

в термостате с применением полупроводников можно получить температуру, оптимальную для термостатируемых устройств;

применение полупроводникового термостата повышает экономичность устройства, так как благодаря возможности установления любой точки термостатирования отпадает необходимость в больших перепадах температуры;

полупроводниковые термостаты обеспечивают более высокую точность поддержания температуры: $(0{,}5 \div 1) \cdot 10^{-3}$° C.

Термостат состоит из корпуса с радиатором, внутренней камеры и термобатареи, одна часть которой соединена (в тепловом отношении) с камерой, а другая — с радиатором корпуса.

В качестве термочувствительного элемента автоматики полупроводникового термостата используется мост переменного тока, в два плеча которого включены терморезисторы. Сигнал рассогласования моста усиливается по напряжению фазочувствительной схемой, выполненной на транзисторах, и поступает на усилитель мощности, управляющий током термобатареи.

ДЕШИФРАТОР С ПАМЯТЬЮ

В современных частотомерах для сохранения информации о результате предыдущего измерения на время последующего счета применяется устройство «памяти». Регистр памяти состоит из четырех двоичных ячеек, которые входят в схему дешифратора пересчетной декады. Помимо ячеек памяти, схема дешифратора содержит резисторную матрицу (представляющую собой собственно дешифратор, преобразующий информацию из двоично-десятичного вида в десятичный), десять ключевых каскадов, управляющих индикаторной лам-

пой, и индикаторную лампу типа ИН-4. После окончания цикла счета триггерные ячейки пересчетной декады в зависимости от записанной в них информации принимают состояние 0 или 1. Коллекторы транзисторов триггерных ячеек соединены с базами транзисторов соответствующих ячеек регистра памяти через сопротивления. Благодаря такой связи ячейка памяти каждый раз принимает состояние триггерной ячейки декады. Если связь триггеров декады и ячеек памяти постоянна, то в каждый момент времени, в том числе и во время счета, имеется соответствие в состояниях ячеек, т. е. ячейки памяти опрокидываются одновременно с ячейками декады. Если

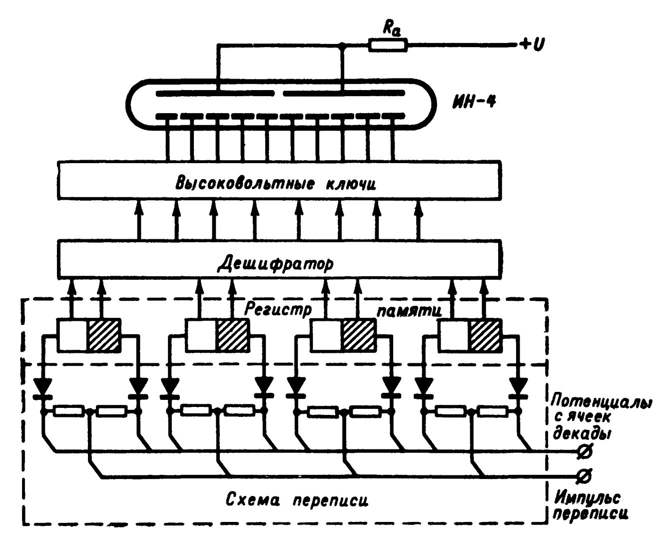


Рис. 38. Дешифратор с памятью.

связь ячеек декады и памяти осуществляется только по окончании цикла счета в течение короткого интервала времени, оставаясь остальное время разорванной, то ячейки памяти будут хранить состояние ячеек декады, соответствующее окончанию счета, т. е. «запоминать» результат предыдущего измерения.

Для управления ячейками служит схема переписи, в которую входят диоды $Д_1$—$Д_8$ и резисторы R_1—R_8. При подаче на шину переписи нулевого потенциала ячейки памяти оказываются связанными с ячейками декады и опрокидываются одновременно с ними. Если на шину переписи подается положительный потенциал, то диоды $Д_1$—$Д_8$ оказываются смещенными в обратном направлении и изменения потенциалов на коллекторах транзисторов триггеров декады не вызывают опрокидывания ячеек памяти. Если на короткое время положительный потенциал на шине переписи уменьшить до нуля, ячейки памяти примут состояние ячеек декады и при восстановлении положительного потенциала будут сохранять эти состояния.

На рис. 38 приведена блочная схема дешифратора с памятью.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЧАСТОТОМЕРЫ

Основные характеристики	Отечественного производства			Фирма „Рошар“ — Франция		Фирма „Такеда-Рикен“ — Япония, TR-3189B
	Ч3-24	Ф-571	Ч3-30	A.1149	A.1439	
1	2	3	4	5	6	7
Измерение частоты непрерывных колебаний						
Диапазон частот	10 *гц* — 50 *Мгц*	0,1 *гц* — 20 *Мгц*	а) 10 *гц* — 20 *Мгц*; б) 10 — 80 *Мгц* (:4) в) 80 — 540 *Мгц* с преобразователем	а) 0—22 *Мгц* б) 20 *гц* — 60 *Мгц* с преобразователем A.1215 в) 0 — 560 *Мгц* с преобразователем A.1246	а) 0 — 50 *Мгц* б) 0 — 210 *Мгц* с преобразователем A.1441B в) 0 — 550 *Мгц* с преобразователем A.1511B	а) 10 *гц*—210 *Мгц* б) 10 *гц* — 1 000 *Мгц* с преобразователем TR-3014 в) 10 *гц*— 15 *Ггц* с преобразователем TR-3001
Нестабильность частоты кварцевого генератора	$\pm 5\cdot 10^{-8}$ (после двухчасового прогрева) в течение недели $\pm 3\cdot 10^{-7}$ за 30 суток $\pm 5\cdot 10^{-7}$ за 6 мес.	$\pm 1\cdot 10^{-7}$ в течение 10 суток	$\pm 1\cdot 10^{-8}$ за 1 *ч* $\pm 3\cdot 10^{-8}$ за сутки $\pm 1\cdot 10^{-7}$ за 15 суток	$\pm 1\cdot 10^{-8}$ в течение недели	$\leqslant 3\cdot 10^{-9}$ за сутки (после 72 *ч* работы) $\leqslant 1\cdot 10^{-8}$ за неделю	$\pm 3\cdot 10^{-9}$ в течение суток
Погрешность измерения	$\pm 5\cdot 10^{-8} \pm 1$ в течение недели	$\pm 1\cdot 10^{-7} \pm 1$	$\pm 3\cdot 10^{-8} \pm 1$ в течение суток	$\pm 1\cdot 10^{-8} \pm 1$	$\pm 3\cdot 10^{-9} \pm 1$	$\pm 3\cdot 10^{-9} \pm 1$

Продолжение приложения

Основные характеристики	Отечественного производства			Фирма „Рошар" — Франция		Фирма „Такеда-Рикен" — Япония, TR-3189B
	ЧЗ-24	Ф-571	ЧЗ-30	А.1149	А.1439	
1	2	3	4	5	6	7
База времени (кварц, время измерения)	Кварц 1 *Мгц*; 0,001—0,01—0,1—1—10 *сек*	Кварц 1 *Мгц*; 0,001—0,01—0,1—1—10—100 *сек*	Кварц 5 *Мгц*; 0,001—0,01—0,1—1—10 *сек*	Кварц 5 *Мгц*; 0,1—1—10 *сек*	Кварц 5 *Мгц*; 0,1—1—10 *сек*	Кварц 1 *Мгц*; 0,001—0,01—0,1—1—10 *сек*
Входное сопротивление	По ВЧ входу 10 *ком*, 50 *пф* По НЧ входу 10 *ком*, 50 *пф*	50 *ком*, 30 *пф*	50 *ком*, 50 *пф* (10 *гц*, 20 *Мгц*) 50 *ом* (10—540 *Мгц*)	100 *ком*, 50 *пф* (до 22 *Мгц*) 50 *ом* (до 560 *Мгц*)	100 *ком*, 30 *пф* (20 *гц*—50 *Мгц*) 50 *ом* (с преобразователем)	50 *ом*
Величина входного сигнала, *в* (действующее значение)	0,1—100	0,1—100 (10^3—$2\cdot10^7$ *гц*) 1—100 (0,1—10^4 *гц*)	0,1—100 (10 *гц*—20 *Мгц*) 0,1—3 (10—80 *Мгц*) 0,05—1 (80—540 *Мгц*)	0,2—100 (0—100 *кгц*) 0,05—100 (20 *гц*—22 *Мгц*) 0,05 (1—60 *Мгц*) 0,02 (60—560 *Мгц*)	0,2—50 (0—500 *кгц*) 0,05—50 (20 *гц*—50 *Мгц*) 0,05—1 (210 *Мгц*) 0,1—1 (550 *Мгц*)	0,1—10

Основные характеристики	Отечественного производства			Фирма „Рошар" — Франция		Фирма „Такеда-Рикен" — Япония, TR-3189B
	ЧЗ-24	Ф-571	ЧЗ-30	А.1149	А.1439	
1	2	3	4	5	6	7
			Измерение длительности периодов			
Диапазон частот, *гц*	10^{-2}—10^{6}	10^{-1}—10^{6}	10—10^{5}	0—10^{5}	0—10^{6}	См. измерение интервалов времени
Погрешность измерения	$\pm 5\cdot 10^{-8} \pm \frac{3\cdot 10^{-3}}{n} \pm$ ±1 счета (n=1, 10, 10^2, 10^3, 10^4 — коэффициент умножения периода)	$\pm 1\cdot 10^{-7} + \frac{10^{-3}}{n} + \frac{10}{nT_{изм}f_{зап}}$ (n — количество измерительных периодов; $f_{зап}$ — частота заполнения, *кгц*; $T_{изм}$ — значение измеряемого периода *мксек*)	$\pm 1\cdot 10^{-7} + 0{,}003 \times \frac{1}{n} + 1$ счета (n — коэффициент умножения периода)	$\pm 0{,}3\% \pm 1 \times 10^{-8} + 1$	$\pm 0{,}3\% \pm 3 \times 10^{-9} + 1$	
Величина входного сигнала, *в* (действующее значение)	0,1—100	1—100	0,5—100	0,2—100	0,2—50	—

Основные характеристики	Отечественного производства			Фирма „Рошар" — Франция		Фирма „Такеда-Рикен" — Япония, TR-3189B
	Ч3-24	Ф-571	Ч3-30	А.1149	А.1439	
1	2	3	4	5	6	7
Измерение интервалов времени						
Пределы измерения интервалов времени, *сек*	—	10^{-5} — 10^{5}	10^{-6} — 10^{2}	$5\cdot10^{-7}$ — $9\cdot10^{7}$	$5\cdot10^{-7}$ — $9\cdot10^{7}$	10^{-7} — 10^{-6} (с блоком TR-4012)
Величина входного сигнала, *в*	—	3 — 50	0,5 — 100	5 — 8	6 — 12	0,1 — 10
Пределы измерения длительности импульсов, *сек*	—	10^{-6} — 10^{5}	10^{-5} — 10^{2}	10^{-6} — $9\cdot10^{7}$	$5\cdot10^{-7}$ — $9\cdot10^{7}$	—
Величина входного сигнала, *в*	—	1 — 100	0,5 — 100	5 — 8	6 — 12	

Основные характеристики	Отечественного производства			Фирма „Рошар" — Франция		Фирма „Такеда-Рикен" — Япония, TR-3189B
	Ч3-24	Ф-571	Ч3-30	А.1149	А.1439	
1	2	3	4	5	6	7
Погрешность измерения	—	$\pm 1\cdot 10^{-7} + \frac{10^6}{t_{изм} f_{зап}}$	$\pm 3\cdot 10^{-8} \pm 1$ период частоты заполнения	$\pm 1\cdot 10^{-8} \pm 1$ период частоты заполнения	$\pm 3\cdot 10^{-9} \pm 1$ период частоты заполнения	—
Выдаваемые частоты, *гц*	$10 \div 10^7$	10^{-2} — 10^7 декадно; $2\cdot 10^7$	10^{-1} — 10^7 декадно; $2\cdot 10^7$	1 — 10^7 декадно	1 — 10^7 декадно	1^{-3} — 10^8 декадно
Питание	220 *в* ± 10%; 50 *гц* ± 1%	220 *в*; 50 *гц*	220 *в*; 50 *гц*; 115 *в*; 400 *гц*	115—127—220 *в*; 50/400 *гц*	115—127—220—240 *в*; 50/400 *гц*	220 *в*; 50/60 *гц*
Потребляемая мощность, *ва*	85	100	120	30	90	180
Размеры, *мм*	490×135×475	290×490×375	200×480×420	202×406×355	150×458×430	193×415×340
Вес, *кг*	15	20	24	14	16,5	15

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 19 коп.